

**UNIVERSIDAD COMPLUTENSE DE MADRID**  
**FACULTAD DE MEDICINA**  
**Departamento de Cirugía**



**TESIS DOCTORAL**

**Papel pronóstico de la resonancia magnética en el trauma  
cervical**

**MEMORIA PARA OPTAR AL GRADO DE DOCTOR**

**PRESENTADA POR**

**Rafael Martínez Pérez**

**Directores**

**Alfonso Lagares Gómez-Abascal**  
**José Antonio Fernández Alén**

**Madrid 2019**

**UNIVERSIDAD COMPLUTENSE  
DE MADRID**

FACULTAD DE MEDICINA  
PROGRAMA DE DOCTORADO EN  
CIENCIAS BIOMÉDICAS  
DEPARTAMENTO DE CIRUGÍA



***PAPEL PRONÓSTICO DE LA  
RESONANCIA MAGNÉTICA EN EL  
TRAUMA CERVICAL***

D. Rafael Martínez Pérez

Madrid, 2017



# **UNIVERSIDAD COMPLUTENSE DE MADRID**

FACULTAD DE MEDICINA  
PROGRAMA DE DOCTORADO EN  
CIENCIAS BIOMÉDICAS  
DEPARTAMENTO DE CIRUGÍA



## ***PAPEL PRONÓSTICO DE LA RESONANCIA MAGNÉTICA EN EL TRAUMA CERVICAL***

Memoria presentada para optar al grado de Doctor  
de D. Rafael Martínez Pérez

**Directores: Dr. Alfonso Lagares Gómez-Abascal,  
Dr. José Antonio Fernández Alén**

Madrid, 2017



*A mi madre, por creer siempre en la belleza de mis sueños.*

*A mi padre, mi primer y último maestro, por transmitirme, sin saberlo, su vocación que ahora es mi pasión*

“Porque Dios reserva siempre las batallas más duras  
para sus mejores soldados”  
Francisco I



## **AGRADECIMIENTOS**

En primer lugar, quiero agradecer a mi familia, por su apoyo incondicional en todas mis decisiones, por guiarme a lo largo de mi crecimiento personal, por ser un referente de amor y entrega. A mi socio incondicional, Antonio, porque nunca se fue y allá donde estés siempre te encontraré en la habitación de otro paciente; a mi cómplice Aurora (y ab yeyé), por ser la mujer que más me ha influenciado en mi vida, y porque gracias a ellos, a mis compañeros de piso, y a todo su sacrificio durante esos 6 años y toda su vida, hoy puedo ofrecer mi profesión y mi vida al servicio de los demás.

A mi “official translator” Natalia, por ser el soporte vital y el calor en el frío Canadá. Por ser mi bastón en los momentos más duros y el júbilo compartido en las victorias.

A mis directores, Dr Alfonso Lagares y Dr José A. Fdez-Alén, por guiarme con diligencia y ética en el camino de la investigación y la medicina, por enseñarme e introducirme en el apasionante mundo de la investigación.

Al Dr Rafael Alday y al Dr Pedro A Gómez, por mostrarme con profesionalidad, carisma y cariño el mundo del traumatismo cervical y hacerme creer en un proyecto que ellos empezaron.

A mis maestros, Lobato, Rivas, Gómez, Cabrera, Alday, Hinojosa, González, Fdez-Alen Lagares, Pérez, Pascual y Jiménez, porque ellos me enseñaron con su práctica los valores del altruismo y la honestidad y porque por ellos se formó el neurocirujano que soy hoy en día. Por acompañarme y guiarme durante mi residencia, pero también



durante los años posteriores de mi profesión. Por generar en mí un sentimiento de admiración y ser el espejo donde me gustaría mirarme siempre.

A Luis, Manu, Marta, Igor, Pablo, Ana y Santi, por enseñarme y aconsejarme, y porque a día de hoy más que compañeros, puedo llamarlos amigos.

A mis amigos y “excolegas” por aguantarme y por aceptarme. Pero especialmente, por quererme siempre y bajo cualquier circunstancia.

A Rafa #34 por ser el aliento en “la más pesada”, por enseñarme que abandonar no es una opción: “las batallas más duras están destinadas para los mejores soldados”.

Y dado que la gloria repartida entre muchos es menos gloria, debo concluir y decir a todos ellos que forman parte de estas páginas, GRACIAS.

## GLOSARIO DE ABREVIATURAS EMPLEADAS

ASIA (Amerian Spinal Injury Association)

ATLS (Advance Trauma Life Support)

CCEs = corticoesteroides

CMC = compromiso máximo de canal, *MCC*

CMM = compromiso máximo medular. *MSCC*

LCA = ligamento común anterior, *ALL*

LCP = ligamento común posterior, *PLL*

LF = ligamentum flavum (ligamento amarillo)

LMA = Lesión Medular Aguda

RM = Resonancia Magnética

SCIWOCTET = Lesión medular aguda sin evidencia tomográfica de traumatismo (del inglés, *Spinal Cord Injury Without Spinal Cord Injury*)

STIR = Del inglés, *Short TI Inversion Recovery*

TC = Tomografía Computarizada



## RESUMEN

“Papel pronóstico de la Resonancia Magnética precoz en la lesión medular aguda cervical de origen traumático”

**Introducción:** La Lesión Medular Aguda (LMA) traumática tiene lugar a nivel cervical en las dos terceras partes de los casos. Por ello, el trauma cervical es una potencial fuente de incapacidad a largo plazo. La estructura interna de la médula espinal y la integridad de los ligamentos cervicales se visualiza mejor mediante los estudios de Resonancia Magnética (RM). Desde comienzos de los años 90, algunos estudios han analizado la importancia de algunos hallazgos radiológicos en la RM cervical en pacientes con LMA traumática. La relación entre la longitud de la lesión y la evolución neurológica ha quedado suficientemente demostrada. Sin embargo, la importancia de otros hallazgos como la lesión de los ligamentos cervicales, así como el verdadero valor pronóstico de las variables radiológicas cuando la exploración neurológica inicial es considerada como factor predictor permanecen sin resolver. De modo similar, existe un grupo de pacientes dentro de la LMA pero sin evidencia tomográfica de traumatismo (SCIWOCTET) al que se ha considerado como un subgrupo con una evolución favorable, aunque este hecho no se ha corroborado en estudios con un número sustancial de pacientes y los factores pronósticos no se han determinado con exactitud.

**Hipótesis y objetivos:** Nuestra hipótesis es que la RM precoz es una herramienta con una útil capacidad predictiva y en ella es posible identificar variables radiológicas asociadas al pronóstico neurológico. Del mismo modo, creemos que algunos pacientes que sufren

SCIWOCTET tienen mayor probabilidad de presentar una peor evolución neurológica y que ésta es capaz de predecirse a través del hallazgo de cambios de señal intramedular y lesiones ligamentosas en la RM cervical.

El objetivo principal de la línea de trabajo es (1) “Determinar el papel pronóstico de la RM cervical precoz en los pacientes con lesión medular aguda traumática”. Y los objetivos particulares son los siguientes: (2) examinar la relación entre los cambios producidos en la extensión de la lesión intramedular y la lesión de los diferentes tejidos blandos que dan estructura a la columna cervical; (3) evaluar la capacidad de recuperación de la función neurológica en los pacientes con LMA cervical traumática, en función de los hallazgos radiológicos que se presenten; (4) desarrollar un modelo que explique, en su mayor medida, la capacidad pronóstica de las pruebas radiológicas y la clínica inicial; (5) determinar cuáles son los factores pronósticos radiológicos más importantes en la evolución neurológica de los pacientes adultos que sufren SCIWOCTET.

**Métodos:** Se trata de un estudio observacional analítico, basado en el análisis retrospectivo de series de casos con LMA cervical traumática y RM realizada en fase precoz, procedentes de dos hospitales universitarios. A partir de dicha base, se diseñaron 3 grupos. El primero incluía pacientes con LMA y con una RM realizada en las primeras 96 horas; el segundo, pacientes exclusivamente afectados con SCIWOCTET y una RM realizada en las primeras 72 horas; y el tercero, pacientes con LMA incompleta y una RM precoz en menos de 72 horas. Todos los pacientes fueron examinados clínicamente, utilizando la escala ASIA, en el momento inicial al ingreso y al seguimiento al año. Se consideró como mal pronóstico la ausencia de mejoría de al menos un grado en la escala ASIA entre el ingreso y el seguimiento. Dos observadores analizaron de forma simultánea

y consensuada, las variables radiológicas dependientes de la RM: longitud de la lesión, hemorragia intramedular, hematoma extramedular, compromiso de canal y medular, lesión de ligamentos cervicales. Adicionalmente, se revisaron retrospectivamente la Tomografía Computarizada (TC) y radiología simple de los pacientes incluidos. Mediante la realización de test no paramétricos, se realizaron análisis uni y multivariable de los hallazgos clínicos y radiológicos para analizar: la correlación entre el patrón lesional de los ligamentos cervicales con la longitud de la lesión intramedular en la RM cervical (grupo I); los factores de mal pronóstico en la RM en pacientes con SCIWOCTET (grupo II); y los factores independientes asociados al mal pronóstico en los pacientes con LMA incompleta. El límite para considerar significación estadística fue el de  $p < 0,05$  y todos los test estadísticos se llevaron a cabo con el software SPSS v20 (IBM, Armonk, New York).

**Resultados:** Finalmente, el grupo I incluyó 108 pacientes; el grupo II, 48; y el grupo III 86. La lesión del ligamento amarillo se asoció, de manera independiente, a una mayor longitud de la lesión intramedular detectada en RM (Grupo I). En los pacientes con SCIWOCTET, un mayor tamaño de las lesiones intramedulares y la lesión de ligamento amarillo demostraron su asociación con peor pronóstico neurológico (grupo II). El análisis multivariable de potenciales factores pronósticos en los pacientes LMA cervical traumática mostró que la presencia de luxación facetaria en la TC y un aumento de señal de más de 36 milímetros en la secuencia T2 de la RM son los factores radiológicos asociados con una pobre recuperación neurológica al seguimiento, independientemente de la exploración neurológica inicial (grupo III).

## **Conclusiones:**

1. La RM precoz tiene valor pronóstico en el estudio de la LMA cervical traumática.
2. La lesión de los ligamentos cervicales, y más especialmente del ligamento amarillo, está asociada a lesiones medulares más extensas.
3. Los pacientes con LMA y una longitud del cambio de señal en T2 superior a 36 milímetros presentan un riesgo de hasta 4 veces superior de no mostrar una mejoría neurológica. Los pacientes con lesión del LCA y, de forma más consistente, con lesión del LF, tienen un peor pronóstico neurológico.
4. Además de una pobre función neurológica inicial, la presencia de luxación facetaria en la TC y la determinación en RM de una lesión intramedular mayor de 36 milímetros son las variables asociadas, de manera independiente, a una mala evolución neurológica.
5. La detección de la lesión de ligamentos cervicales y una mayor extensión del aumento de señal intramedular en T2 en los cortes sagitales son los factores más determinantes en la RM cervical para predecir una ausencia de recuperación neurológica en los pacientes con SCIWOCTET.

## ABSTRACT

“Prognostic value of the early Magnetic Resonance in the cervical spinal cord injury after trauma”

**Introduction:** Acute traumatic spinal cord injury (SCI) is located at the cervical level in two thirds of cases. Thus, cervical trauma is potentially the source of long-term disability because of its associated risk of SCI. The internal architecture of the spinal cord and integrity of cervical ligaments are best visualized with Magnetic Resonance imaging (MRI). Since the early 1990s, several studies have investigated the role of several radiologic findings in patients with traumatic SCI. The correlation between lesion length and neurologic outcome has been sufficiently demonstrated in the acute phase after cervical trauma. However, the importance of other radiological findings, such as the injury of the cervical ligaments, and the real prognostic value of the radiological variables when the initial neurological examination comes into consideration remains unresolved. In a similar manner, there is a group of patients with SCI but without computed tomography (CT) evidence of trauma (SCIWOCTET), whose neurological outcome has been suggested to be favorable, although this finding has never been corroborated in larger studies and the prognostic factors in this entity are still unknown.

**Hypothesis and objectives:** We hypothesize that early MRI is a useful predicting tool and allows to identify the radiological variables associated with neurological outcome. Likewise, it is our belief that some of the patients with SCIWOCTET might have a poorer outcome, which it is possible to predict analyzing changes in intramedullary signals and ligamentous integrity in the MRI.



The main objective of our investigations is (1) “to determine the prognostic role of the early cervical MRI in patients with acute traumatic SCI” Our secondary objectives are described as follows: (2) to analyze the relationship between intramedullary signal changes and the injury of soft tissues; (3) to study the neurological recovering capacity in patients with cervical SCI, regarding the radiological findings; (4) to develop a model explaining the predicting role of the radiological tests and the initial neurological exam; (5) to determine which are the most relevant radiological prognostic factors in adult patients suffering SCIWOCTET.

**Methods:** This is an analytic observational study, based in the retrospective analysis of a case series of patients having an acute traumatic cervical SCI and an MRI performed in the early phase. From this database, three groups were designed. First group included patients with acute traumatic cervical SCI and an MRI performed within the first 96 hours; the second included patients suffering SCIWOCTET and the MRI performed within the first 72 hours; the third group specifically included patients with incomplete SCI and an early MRI (<72 hours). All patients were neurologically assessed using the ASIA scale at two times: at admission and at one-year follow-up. Poor outcome was considered when there was no improvement of at least one point in the ASIA scale between the examination at admission and the examination at one-year follow-up. Two observers simultaneously and consensually analyzed the MRI findings: lesion length, intramedullary hemorrhage, extramedullary hematoma, canal compromise, spinal cord compromise and ligamentous injury. Additionally, CT and plain radiographs of the C-spine of all patients were retrospectively analyzed. Using non-parametric test, univariable and multivariable analysis of the clinical and radiological findings were performed to analyze: the correlation between the pattern of ligamentous injury and

intramedullary lesion length (group I); MRI prognostic factors in patients with SCIWOCTET (group II); and the independent factors associated to a poor neurological outcome in patients with incomplete SCI. The threshold for statistical significance was  $P < 0.05$ , and all tests were calculated by use of SPSS v20 (IBM, Armonk, New York).

**Results:** Finally, group I included 108 patients; group II, 48; and group III did 86 . Ligamentum flavum injury was independently associated with larger intramedullary lesions detected in the MRI (group I). In patients suffering SCIWOCTET (group II), patients with larger intramedullary lesions and injury of the ligamentum flavum demonstrated to have a poor outcome. The multivariable analysis of potential prognostic factors in patients with acute cervical SCI showed that the presence in the MRI of lesions larger than 36 millimeters and facet luxation are significantly associated with poor neurological recovery at follow-up, regardless the initial neurological examination (group III).

### **Conclusions:**

1. Early MRI has a prognostic value in the study of patients with traumatic cervical SCI.
2. Ligamentous injury, and more specifically, disruption of ligamentum flavum is associated to larger intramedullary lesions.
3. Patients with traumatic cervical SCI and a signal changes in T2 larger than 36 millimeters have a 4-fold risk for not showing a neurological improvement. Patients with disruption of anterior common ligament and, more consistently, with disruption of ligamentum flavum have greater possibilities of having a poor neurological outcome.

4. Besides a poor neurological initial exam, detection of a facet luxation on the CT scan and an intramedullary lesion larger than 36 millimeters visualized in the MRI are independent strong predicting factors for a poor neurological outcome.
5. Detection of cervical ligamentous injury and a larger intramedullary signal hyperintensity change on T2 in MR images are the strongest prognostic factors to predict a lack of neurological recovery in patients with SCIWOCTET.

## Tabla de contenido

Dedicatoria.....	ii
Agradecimientos.....	iii
Glosario de abreviaturas empleadas.....	v
Resumen (español) .....	vi
Abstract (English) .....	x
Listado de tablas .....	xvi
Listado de figuras.....	xvii
I. Introducción .....	1
1. Traumatismo cervical .....	5
1.1. Inestabilidad espinal .....	6
1.2. Clasificaciones de lesiones traumáticas cervicales .....	7
2. Lesión medular aguda de origen traumático .....	13
2.1. Epidemiología .....	13
2.2. Impacto Socioeconómico.....	14
2.3. Clasificación de la Lesión Medular Aguda Traumática .....	14
2.3.1. Terminología.....	14
2.3.2. Síndrome medular completo vs Incompleto .....	15
2.4. Evaluación del daño medular .....	21
2.5. Lesión Medular Aguda sin evidencia tomográfica de Traumatismo (SCIWOCTET) .....	23
3. Manejo de la lesión medular cervical traumática .....	26
3.1. Manejo prehospitalario .....	26
3.2. Llegada al hospital.....	26
4. Evidencia actual en el tratamiento de la lesión medular cervical traumática.....	28
4.1. Tratamiento médico/manejo conservador .....	28
4.2. Tracción-reducción/tratamiento quirúrgico .....	29
5. Estudio radiológico en el traumatismo cervical .....	33
5.1. Manejo inicial y criterios NEXUS.....	33
5.2. Radiología simple .....	34
5.3. Tomografía Computarizada (TC).....	36
5.4. Resonancia Magnética (RM) .....	37
6. Factores pronósticos en la lesión medular cervical traumática .....	46
6.1. Factores pronósticos clínicos .....	49
6.2. Factores pronósticos radiológicos.....	51
7. Justificación de la línea de trabajo .....	53
7.1. Influencia de los tejidos blandos en la LMA traumática .....	53
7.2. SCIWOCTET en adultos.....	54
7.3. Peso pronóstico de la RM en el traumatismo medular cervical .....	55

II. Hipótesis y objetivos .....	56
III. Material y métodos .....	59
1. Población de estudio .....	60
1.1. Criterios de inclusión.....	60
1.2. Criterios de exclusión.....	61
2. Recogida de datos clínicos y demográficos y manejo .....	63
3. Estudio radiológico .....	65
3.1. Técnica y variables radiológicas .....	65
3.2. Análisis de las imágenes.....	69
3.3. Período temporal para la realización de la RM.....	69
4. Análisis estadístico .....	70
4.1. Influencia de la lesión de tejidos blandos en la extensión de la lesión (grupo I).....	70
4.2. Variables pronósticas en el paciente con SCIWOCTET (grupo II).....	71
3.3. Variables pronósticas en el paciente con LMA incompleta secundaria a traumatismo (grupo III) .....	72
IV. Resultados .....	75
1. Grupo I: Influencia de la lesión de tejidos blandos en la extensión de la lesión .....	76
a. Artículo: " <i>Spinal Cord Injury after Blunt Cervical Spine Trauma: Correlation of Soft-Tissue Damage and Extension of Lesion</i> " .....	77
b. Resumen de los resultados .....	83
2. Grupo II: Variables pronósticas en el paciente con SCIWOCTET .....	86
a. Artículo: " <i>Cervical Spinal Cord Injury without Computed Tomography evidence of trauma (SCIWOCTET) in adults: MRI prognostic factors</i> " .....	87
b. Resumen de los resultados .....	95
3. Grupo III: Variables pronósticas en el paciente con LMA incompleta secundaria a traumatismo.....	100
a. Artículo: " <i>MRI prognostication factor in the setting of the traumatic cervical spinal cord injury</i> " .....	101
b. Resumen de los resultados .....	111
V. Discusión .....	118
1. Valor pronóstico de la lesión de los ligamentos vertebrales y afectación de tejidos blandos (grupo I) .....	121
2. Variables pronósticas en la RM cervical precoz en los pacientes con lesión medular aguda traumática sin evidencia tomográfica de traumatismo (SCIWOCTET) (grupo II) .....	125
3. Factores pronósticos en los pacientes con LMA incompleta (grupo III) .....	132
4. Limitaciones de los estudios.....	139
VI. Conclusiones .....	142
VII. Bibliografía .....	145
VIII. Anexo: otros artículos publicados relacionados con el tema principal .....	158
1. Artículo: " <i>AJNR Digest: Spinal Cord Injury after Blunt Cervical Spine Trauma: Correlation of Soft-Tissue Damage and Extension of Lesion</i> " .....	159
2. Artículo: " <i>Subaxial cervical spine injury classification system: Is it most appropriate for classifying cervical injury?</i> " .....	160
3. Artículo: " <i>Ligaments disruption: A new perspective in the prognosis of spinal cord injury</i> " .....	16

## Listado de tablas

I. Introducción .....	1
<i>Tabla 1.1. Características que debe reunir un sistema de clasificación de fracturas-luxaciones cervicales</i> .....	6
<i>Tabla 1.2. Elementos necesarios para evaluar la estabilidad espinal</i> .....	7
<i>Tabla 1.3. Sistema de clasificación SLIC</i> .....	12
<i>Tabla 1.4. Escala de discapacidad ASIA para la clasificación de la lesión medular aguda</i> .....	22
<i>Tabla 1.5. Puntuación para valorar el balance muscular</i> .....	22
<i>Tabla 1.6. Puntuación para valorar el balance muscular</i> .....	35
<i>Tabla 1.7. Secuencias estándar para el estudio del traumatismo cervical</i> .....	45
II. Hipótesis y objetivos .....	56
III. Material y métodos .....	59
IV. Resultados .....	75
<i>Tabla 4.1. Características de la muestra de los pacientes con LMA (Grupo I)</i> .....	84
<i>Tabla 4.2. Análisis univariable (rho Spearman). Relación entre lesión de tejidos blandos y longitud de la lesión (grupo I)</i> .....	84
<i>Tabla 4.3. Análisis multivariable (regresión lineal). Relación entre lesión de tejidos blandos y longitud de la lesión (grupo I)</i> .....	85
<i>Tabla 4.4. Características de la muestra de los pacientes con SCIWOCTET (grupo II)</i> .....	95
<i>Tabla 4.5. Función neurológica acuerdo a escala ASIA al ingreso y al seguimiento (grupo II)</i> ...	96
<i>Tabla 4.6. Media y desviación estándar para las variables cuantitativas (grupo II)</i> .....	98
<i>Tabla 4.7. Análisis univariable de las variables radiológicas cuantitativas para la mejoría neurológica en los pacientes con SCIWOCTET (grupo II)</i> .....	98
<i>Tabla 4.8. Análisis univariable de las variables radiológicas cualitativas para la mejoría neurológica en los pacientes con SCIWOCTET (grupo II)</i> .....	99
<i>Tabla 4.9. Características de la muestra de los pacientes con LMA (Grupo III)</i> .....	111
<i>Tabla 4.10. Examen neurológico según la escala ASIA al ingreso y al seguimiento (grupo III)</i> .....	112
<i>Tabla 4.11. Factores predictores para mal pronóstico al seguimiento en pacientes con LMA incompleta y trauma cervical. Análisis univariable (grupo III)</i> .....	114
<i>Tabla 4.12. Análisis multivariable (regresión logística) para factores que afectan el pronóstico al seguimiento al año (grupo III)</i> .....	115
V. Discusión .....	118
<i>Tabla 5.1. Revisión bibliográfica sobre estudios de RM en pacientes con SCIWOCTET</i> .....	126
VI. Conclusiones .....	142
VII. Bibliografía .....	145
VIII. Anexo: otros artículos publicados relacionados con el tema principal .....	158

## Listado de figuras

<b>I. Introducción .....</b>	<b>1</b>
<i>Figura 1.1. Sistema de dos columnas aplicado a la columna cervical .....</i>	<i>9</i>
<i>Figura 1.2. Representación gráfica de los síndromes medulares completos e incompletos .....</i>	<i>21</i>
<i>Figura 1.3. Puntuación escala ASIA espinal.....</i>	<i>23</i>
<i>Figura 1.4. Líneas cervicales en la radiografía simple .....</i>	<i>35</i>
<i>Figura 1.5. Fracturas por compresión .....</i>	<i>38</i>
<i>Figura 1.6. Evolución temporal del hematoma medular .....</i>	<i>40</i>
<i>Figura 1.7. RM cervical cortes sagitales T2 y correlaciones gráficas de los hallazgos .....</i>	<i>43</i>
<i>Figura 1.8. Fractura cervical C5 por compresión. Correlación TC y RM. ....</i>	<i>44</i>
<b>II. Hipótesis y objetivos .....</b>	<b>56</b>
<b>III. Material y métodos .....</b>	<b>59</b>
<i>Figura 3.1. Diagrama de flujo que muestra la selección de los pacientes incluidos .....</i>	<i>62</i>
<i>Figura 3.2. RM cervical cortes sagitales T2 y correlaciones gráficas de los hallazgos.....</i>	<i>67</i>
<i>Figura 3.3. RM cervical cortes sagitales T2 .....</i>	<i>68</i>
<b>IV. Resultados .....</b>	<b>75</b>
<i>Figura 4.1. Frecuencia de presentación de las variables cualitativas (Grupo II) .....</i>	<i>97</i>
<i>Figura 4.2. Porcentaje de pacientes que presentaron mejoría para la presencia o ausencia de las variables radiológicas .....</i>	<i>116</i>
<i>Figura 4.3. Curvas ROC para determinar la capacidad discriminativa (mal pronóstico) para el modelo correspondiente al análisis multivariable y para la función neurológica al ingreso ...</i>	<i>117</i>
<b>V. Discusión .....</b>	<b>118</b>
<i>Figura 5.1. Disrupción ligamentaria. A. RM cervical secuencia T2, proyección sagital .....</i>	<i>124</i>
<i>Figura 5.2. Paciente nº 48 se presenta con síndrome centromedular .....</i>	<i>128</i>
<i>Figura 5.3. Paciente nº 13 con lesión del ligamentum flavum .....</i>	<i>130</i>
<b>VI. Conclusiones .....</b>	<b>142</b>
<b>VII. Bibliografía .....</b>	<b>145</b>
<b>VIII. Anexo: otros artículos publicados relacionados con el tema principal .....</b>	<b>158</b>

# I. INTRODUCCIÓN

Una parte de este apartado es una adaptación de los siguientes artículos:

1. **Rafael Martínez-Pérez**, Francisco Fuentes, Víctor S Alemany: *Subaxial cervical spine injury classification system: Is it most appropriate for classifying cervical injury?*. Neural Regeneration Research 11/2015; 10(9). DOI:10.4103/1673-5374.165508
2. **Rafael Martinez-Perez**, Luis Jimenez-Roldan, Alfonso Lagares: *Ligaments disruption: A new perspective in the prognosis of spinal cord injury*. Neural Regeneration Research 03/2014; 9(5). DOI:10.4103/1673-5374.130053





## INTRODUCCIÓN

El traumatismo raquimedular consiste en el daño producido sobre la médula espinal a causa de un impacto, deceleración o aceleración que se aplica sobre la columna axial y tiene como consecuencias la alteración de las funciones medulares motoras, sensitivas y/o vegetativas. Cuando dicho impacto produce sintomatología neurológica provocada por la alteración de estructuras neurológicas correspondientes a la médula espinal, se considera que existe lesión medular aguda (LMA).

La médula espinal se encuentra encerrada en un canal óseo de estructura semirígida, conformado por paredes óseas y ligamentosas que sirven de soporte axial, y hacen, al tiempo, de estructura protectora. Este espacio, ocupado por la médula espinal, es denominado canal espinal.

El traumatismo raquimedular puede clasificarse según el nivel afectado en cervical, dorsal y lumbar; o en función de presentar solución de continuidad en las estructuras adyacentes y de soporte, como abierto o cerrado. El traumatismo raquimedular abierto, se produce cuando un objeto penetrante hace entrada en el canal medular, provocando una lesión, por aplicación directa del objeto mismo. Fundamentalmente, está provocado por arma blanca o armas de fuego. La patología asociada al traumatismo raquimedular abierto sigue unas directrices bien diferenciadas con el traumatismo cerrado, y constituye un capítulo aparte, que no queda incluido en el material y objetivos de la presente tesis.

En el traumatismo raquimedular cerrado se aplica una fuerza sobre la columna axial que incorpora el canal espinal y, de forma indirecta, produce una deformación momentánea o permanente

en la médula espinal, dando lugar al denominado daño medular primario<sup>1</sup>. En lo sucesivo, la falta o la presencia de inestabilidad estructural de la lesión, así como factores dependientes de la inflamación y la isquemia, provocarán un daño celular retrasado, denominado como daño medular secundario<sup>2</sup>.

Tanto en el mecanismo primario, como en el secundario, el daño medular da lugar a la aparición de una clínica de déficit neurológico, que de forma habitual corresponde a: pérdida de fuerza por debajo del nivel que se encuentra afectado, alteración de la sensibilidad o alteraciones del control del sistema neurovegetativo: control de reflejos tales como la micción, la defecación y la sudoración, entre otros. Si bien ambos mecanismos (primario y secundario) influyen en el desarrollo de una disfunción neurológica a nivel espinal, la mayoría de la investigación científica básica hasta ahora se ha centrado en la comprensión de los procesos fisiopatológicos asociados al daño secundario, al entender que el daño medular primario se produce de manera inesperada por el traumatismo, y por tanto no es modificable. En cambio, podríamos ser capaces de realizar diversas intervenciones externas que podrían llevar a mejorar el pronóstico de los pacientes con LMA, cuando actuemos dentro de un período ventana, en el que tiene efecto el daño medular secundario.

No obstante, la práctica clínica y diversos estudios previos demuestran que en el amplio espectro de pacientes que experimentan una LMA, existen diferentes grupos pronósticos y grados de mejoría. Como hemos citado anteriormente, el factor determinante en esta mejoría dependerá, además del daño inicial, de los procesos que acontezcan a nivel microscópico en un período ventana y den lugar a los cambios producidos por el mecanismo lesional secundario. Surgen, entonces, las siguientes preguntas: ¿cuáles son aquellos pacientes que se beneficiarán en mayor grado de una intervención externa? ¿seremos capaces de mejorar nuestras predicciones en la evolución de los enfermos afectados por un traumatismo raquímedular?

Históricamente, los estudios pronósticos en la LMA han estado fundamentalmente enfocados en establecer los factores clínicos que determinan la evolución de los enfermos. A principios de los años 90, con el desarrollo de la Resonancia Magnética (RM), el análisis de los factores radiológicos asociados al pronóstico neurológico ha ido tomando relevancia en el estudio de los pacientes con traumatismo raquímedular. A pesar del reciente progreso y de la aparición de secuencias más específicas, el peso relativo de los diversos factores radiológicos ha demostrado ser insignificante en comparación con la exploración neurológica inicial.

En este trabajo de investigación se analiza la capacidad de la RM precoz para predecir la evolución neurológica de los pacientes con LMA traumática.

## **1. TRAUMATISMO CERVICAL**

Las lesiones traumáticas de la columna cervical quedan separadas, en altas (C1-C2) y bajas (C3-C7). Estas últimas son también conocidas como subaxiales. Las fracturas y luxaciones subaxiales se diferencian de las lesiones traumáticas altas por presentar una biomecánica distinta<sup>3,4</sup>. A lo largo de nuestro trabajo, centraremos nuestro estudio en la lesión medular traumática y en la patología cervical traumática (fractura y luxaciones) subaxial(es), dado que es en la columna cervical baja donde ocurren más de las dos terceras partes de las lesiones<sup>4</sup>.

Es en el traumatismo cervical subaxial una de las patologías donde ha existido más dificultad para establecer una comunicación entre los diferentes profesionales encargados de tratar estas lesiones, por la ausencia de una clasificación ampliamente utilizada y de fácil aplicación. En los últimos años se han desarrollado diversas formas de clasificación, con diferente grado de aceptación por la comunidad científica. Pero, ¿cuáles deberían ser los principales objetivos a cumplir por un sistema de clasificación “perfecto”? ¿cuál es el fallo de los investigadores para desarrollar una clasificación que sea útil y ampliamente aceptada? Primero, estos sistemas deben ser universales y capaces de poder orientar acerca del mejor tratamiento posible, en cada caso concreto. Segundo, deben poseer la capacidad de predecir la evolución neurológica. Tercero y cuarto, es conveniente que permitan establecer una vía útil y sencilla de comunicación entre especialistas, siendo capaces de describir los hallazgos dando una imagen aproximada de las características de la lesión (Tabla1.1).

<i>Características de la clasificación “perfecta” para el traumatismo cervical subaxial</i>
<b>1. Sencilla y universal</b>
<b>2. Capacidad descriptiva</b>
<b>3. Capacidad pronóstica</b>
<b>4. Capacidad de orientar al tratamiento más adecuado</b>

**Tabla 1.1.** Características que debe reunir un sistema de clasificación de fracturas-luxaciones cervicales

### *1.1 Inestabilidad espinal*

El concepto es ambiguo y requiere de varias consideraciones clínicas y biomecánicas. Quizá la definición más sólida es la que, en 1978, acuñaron White y Panjabi<sup>5</sup>. En su trabajo describieron el término de inestabilidad espinal como “*la pérdida de la capacidad de la columna cervical para mantener, ante cargas de fuerza externa, una relación adecuada entre sus componentes (vértebras, disco, ligamentos) que evite tanto la lesión de la médula o raíces espinales, como la aparición de dolor*”. La columna cervical da estabilidad y protección a los elementos neurales, a pesar de su alto grado de flexibilidad y movilidad. Estas propiedades son debidas a la interacción entre estructuras óseas, ligamentosas y otros tejidos blandos, entre los cuales está el disco intervertebral y los músculos paraespinales. La alteración de esta relación puede desembocar en la inestabilidad cervical, la cual si se deja sin tratamiento corrector puede conducir a una lesión medular, radicular, deformidades permanentes y/o dolor

Podemos concluir, por tanto, que para valorar la estabilidad de la columna cervical existen 3 componentes claves que conviene examinar: el componente óseo radiológico, la integridad de los tejidos blandos (ligamentos, disco intervertebral) y la función neurológica (Tabla 1.2).

<i>Componentes principales de la estabilidad espinal</i>
<b>1. Componente óseo radiológico</b>
<b>2. Integridad de tejidos blandos de soporte</b>
<b>3. Función neurológica</b>

**Tabla 1.2.** Elementos necesarios para evaluar la estabilidad espinal

## 1.2 Clasificaciones de lesiones traumáticas cervicales

**1.2.1 Sistemas clásicos de clasificación:** A lo largo de la segunda mitad del siglo XX se han desarrollado diversos sistemas destinados a clasificar las fracturas cervicales subaxiales en función de los hallazgos de las pruebas radiológicas disponibles (TC y radiología simple), elaborando unos criterios de estabilidad o inestabilidad radiológica que permitían guiar al clínico en el tratamiento a seguir<sup>3, 5-7</sup>. Estos sistemas de clasificación que, a partir de ahora, pasaremos a llamar clásicos, eran meramente descriptivos. En esta época pre-RM, una parte de estos sistemas permitían hacer inferencias sobre el mecanismo lesional más probable, sin poseer información de la integridad de los tejidos blandos y de sostén. Habitualmente, se tratan de clasificaciones poco exactas, con alta variabilidad inter e intraobservador y que no ofrecían una información pronóstica fiable. De todas ellas, la que parece haber alcanzado una mayor extensión es la clasificación de Allen<sup>3</sup>, la cual ha perdurado más de 20 años. Este sistema está basado en los hallazgos en una revisión de una serie clínica de 165 pacientes. Cada fractura-luxación cervical es separada en 6 categorías, que realmente describían el comportamiento de la columna cervical en el momento del impacto al aplicar un vector de fuerza: flexión-

compresión, compresión vertical, flexión-distracción, compresión-extensión, extensión-distracción y flexión lateral. Cada una de las categorías, a su vez, eran separadas en grados de gravedad. Sin embargo, este sistema no permitía hacer comparaciones, en términos de pronóstico neurológico, entre fracturas de diferentes categorías. El sistema de clasificación de Allen también fallaba para explicar la inestabilidad producida por el mecanismo de rotación, puesto que este grupo no se encontraba descrito como una categoría diferenciada. Se trata de una clasificación compleja y difícil de aplicar, con dudosa validez intra e interobservador, pero quizá el mayor déficit es que no incluía la función neurológica como variable determinante para la estabilidad de la lesión. Además, aquellos pacientes con lesión medular sin evidencia tomográfica de traumatismo (SCIWOCTET, del inglés *Spinal Cord Injury Without CT Evidence of Trauma*) no podían ser clasificados mediante este sistema.

White y Panjabi<sup>5</sup> diseñaron un complejo sistema de puntuación que incluía variables clínicas y biomecánicas para determinar la estabilidad de las fracturas de la columna cervical. Dicho sistema incluía la realización de test dinámicos, lo cual puede no resultar lo más apropiado para lesiones con dudosa estabilidad, cuyo desplazamiento podría comprometer la función neurológica del paciente. Este factor, añadido al elevado número de ítems a valorar y la excesiva complejidad de la clasificación dificultó una más amplia generalización.

Los sistemas de dos<sup>7</sup> y tres columnas<sup>6</sup> pueden resultar métodos atractivos por su sencillez y por su aplicación directa en el tratamiento, aunque fueron diseñados para el estudio de la columna dorsal y lumbar, las cuales poseen unas propiedades bien distintas a las de la columna cervical subaxial (menor movilidad, mayor estabilidad por la fijación sacra y costal...). Además, estos sistemas son insuficientes para predecir un tipo de fractura que no es infrecuente: las fracturas por compresión, mientras que tiene en alta consideración la fractura de Chance, la cual es muy



improbable a nivel cervical. A pesar de todo ello, estos conceptos son aún utilizados a día de hoy para valorar ciertos criterios de estabilidad. Holdsworth<sup>7</sup> postuló, en su modelo, que la integridad de las estructuras óseas posteriores y el complejo ligamentoso posterior (que a su vez incluía el ligamento amarillo, común posterior y cápsulas articulares de la articulación interapofisaria) era el factor determinante mayor de la estabilidad espinal. Dennis<sup>6</sup> modificó el modelo de “dos columnas” y elaboró el sistema de “tres columnas” donde la columna media estaba formada por la mitad anterior de la columna posterior de Holdsworth (Figura 1.1) e incluía la mitad posterior del cuerpo, el disco intervertebral y ligamento común posterior. En su modelo, la inestabilidad espinal era considerada cuando la columna media y otra de las dos (anterior o posterior) estaban afectadas. La opinión de nuestro grupo de trabajo, heredero de la escuela del Dr Alday, es que los métodos de Holdsworth y Dennis son una sobresimplificación de la inestabilidad a nivel cervical, que carece de otros elementos necesarios para caracterizar dicha inestabilidad, tales como las estructuras ligamentarias, la extensión de la lesión o la función neurológica<sup>4</sup>.

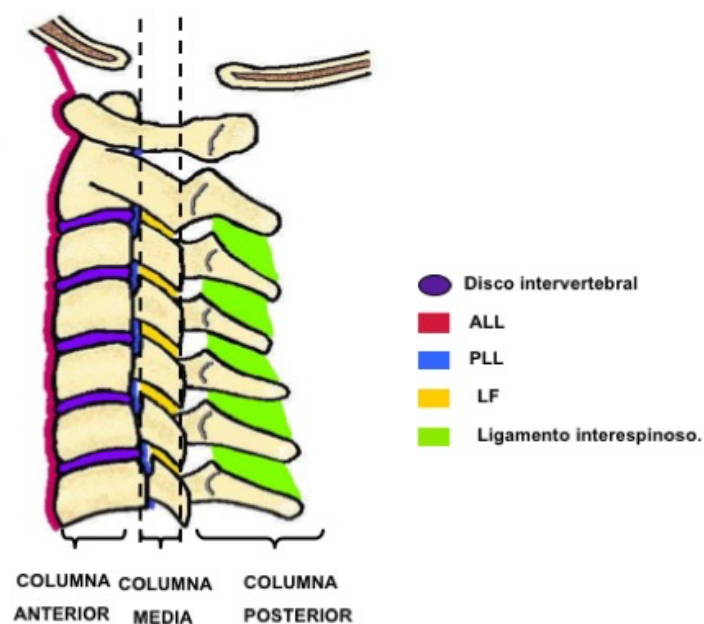


Figura 1.1. Sistema de dos columnas aplicado a la columna cervical. Adaptado de Denis F. Spinal instability as defined by the three-column spine concept in acute spinal trauma. Clin Orthop Relat Res. 1984;65–76<sup>6</sup>.

### 1.2.2 Nuevos sistemas de clasificación: clasificación SLIC. De la estructura a la función:

Los sistemas “clásicos” de clasificación estaban basados en estudios de radiología simple y TC. Dichos sistemas realizaban un análisis indirecto sobre el estado de los ligamentos, a partir de un estudio indirecto de los mecanismos lesionales más probables en respuesta a un patrón de lesión óseo. El desarrollo de la RM en los años 90 permitió un análisis directo sobre la integridad de las estructuras ligamentosas y otros tejidos blandos.

De manera similar, las anteriores clasificaciones omitían un factor importante a considerar en la evaluación de la estabilidad cervical: la función neurológica. Numerosos estudios han mostrado que la función neurológica inicial es un importante factor pronóstico y representa un importante indicador de la gravedad de la lesión<sup>8,9</sup>. Está ampliamente aceptado que las lesiones neurológicas con progresión requieren de intervención quirúrgica inmediata en la mayoría de las situaciones. De este modo, algunos autores consideran que la función neurológica debería estar incluida de manera consistente en los nuevos métodos de clasificación, de manera que permita ser un factor determinante en la elección de tratamiento quirúrgico, tal como es la práctica habitual<sup>10,11</sup>.

Vaccaro y colaboradores<sup>10</sup> desarrollaron un nuevo sistema de clasificación orientado al manejo clínico y el tipo de indicación terapéutica (tratamiento quirúrgico vs conservador). Este sistema de clasificación de lesiones cervicales subaxiales, denominado SLIC (del inglés Subaxial Injury Classification and Severity Score System), sí incluye variables añoradas en los sistemas clásicos, tales como la lesión ligamentosa y la función neurológica (tabla 1.3). Se dividen en tres pilares básicos que son los que hemos subrayado como mayores responsables de la estabilidad cervical (morfología ósea, integridad de tejidos blandos y función neurológica). A cada categoría se le otorga una puntuación. La suma de la puntuación de las 3 categorías da lugar a un score que varía entre 0 y 10. Este sistema ha mostrado unos altos valores de concordancia y baja variabilidad inter e intra-observador<sup>10, 12, 13</sup>. Se ha propuesto indicar tratamiento quirúrgico para aquellas lesiones con una puntuación mayor de 5 y un manejo conservador para puntuaciones menores a 5. Aquellos pacientes que presenten un valor exacto de 5 serán manejados a criterio del cirujano y sus médicos responsables<sup>14</sup>.

Merece la pena destacar que el sistema SLIC abandona la obsesión por el mecanismo lesional y la anatomía, hacia un sistema de gravedad que da prioridad a la función neurológica y a las lesiones ligamentosas. Como contrapartida, el método de Vaccaro es insuficiente para ser utilizado como medición pronóstica, y ningún estudio hasta el momento ha demostrado tal asociación hasta el momento. Es un sistema poco extendido en la actualidad, aunque su reciente publicación en 2007 explica, en parte, esta carencia. Desde nuestro grupo de trabajo pensamos que su reproducibilidad irá incrementándose a medida que los cirujanos se familiaricen con el protocolo.

<i><b>Característica</b></i>	<i><b>Puntuación</b></i>
<u><i>Morfología</i></u>	
• Sin anormalidad	0
• Compresión	1
• Estallido	2
• Distracción (subluxación facetaria, hiperextensión)	3
• Rotación/traslación (luxación articular, fractura “en lágrima” desplazada o estado avanzado de lesión flex-comp)	4
<u><i>Complejo disco-ligamentoso</i></u>	
• Intacto	0
• Indeterminado (ensanchamiento interapofisario, cambios de señal RM aislados)	1
• Lesionado (aumento de espacio intervertebral, luxación o bloqueo facetario, deformidad cifótica)	2
<u><i>Función neurológica</i></u>	
• Intacta	0
• Lesión radicular	1
• Lesión medular Completa	2
• Lesión medular Incompleta	3
• Progresión de la lesión neurológica (Neuromodificador)	+1

Tabla 1.3. Sistema de clasificación SLIC (del inglés, Subaxial Inlury Classification and Severity Score System). Adaptación de Vaccaro et al 2007<sup>10</sup>.

A pesar de que el sistema SLIC cubre gran parte de las deficiencias anteriores, la comunidad científica añora, todavía, un sistema que permita establecer de forma sencilla y consistente un pronóstico de la evolución clínica.

## **2. LESIÓN MEDULAR AGUDA DE ORIGEN TRAUMÁTICO**

### **2.1 Epidemiología**

La lesión medular aguda traumática (LMA) es un cuadro devastador que se encuentra distribuido a lo largo de todas las regiones a nivel mundial<sup>15</sup>. Se localiza a nivel cervical entre un 45 y un 75 por ciento de los casos<sup>16, 17</sup>. Se trata, por tanto, de una causa frecuente de gran discapacidad en el mundo occidental<sup>17</sup>. La mayoría de veces está asociada a fractura o luxación y es fácil de diagnosticar mediante radiología convencional o el uso de TC. Sin embargo, como veremos posteriormente, hasta en un 10 por ciento de los casos, la lesión medular aguda que sigue al traumatismo ocurre en ausencia de anormalidades óseas o luxaciones<sup>18</sup>.

Cada año, entre 250 mil y 500 mil personas sufren una LMA<sup>19</sup>. El 90 por ciento son debidas a causa traumática. La incidencia de LMA traumática se estima en aproximadamente 50 casos por millón de habitantes en el mundo occidental<sup>20</sup> y se ha mantenido estable a lo largo de los últimos 20 años, aunque se estima que podría ser mucho mayor, considerando que gran parte de los lesionados fallecen en el lugar del accidente o antes de recibir atención hospitalaria especializada<sup>15, 21</sup>. Existe una distribución que varía entre 2:1 a 3:1 a favor de los hombres, según los estudios; y el segmento de edad entre los 18 y 30 años es el más comúnmente afectado<sup>20, 22</sup>. No obstante, existe un incremento progresivo, en proporción, de la población de mayores de 65 años a partir de los últimos 10 años, así

como de la LMA secundario a caídas casuales desde su propia altura<sup>20</sup>. Dicho fenómeno tiene que ver con la disminución de accidentes de tráfico y el aumento de la esperanza de vida, lo que ha provocado un aumento de la edad media que presentan los pacientes al diagnóstico. Merece la pena recordar que la causa más frecuente de LMA en pacientes entre 18 y 30 años son los accidentes de tráfico de vehículos de motor, mientras que en los pacientes ancianos cobra especial relevancia las caídas accidentales.

## 2.2 Impacto Socioeconómico

Según la Organización Mundial de la Salud (OMS) los pacientes con LMA tienen de dos a 5 veces más probabilidades de sufrir una muerte prematura. Esta probabilidad aumenta en países con menor índice de desarrollo<sup>19</sup> (OMS. Updates 2013). Esta patología tiene un fuerte impacto socioeconómico en la sociedad, dado que está íntimamente relacionada con unas tasas menores de escolarización en la población de pacientes afectados y de un menor aporte productivo económico.

En el caso de lesión medular cervical traumática, el coste directo calculado por cada paciente varía entre los 2 y los 5 millones de dólares, variando en función del grado de afectación neurológica y la edad al diagnóstico<sup>23</sup>. A este valor hay que añadir el coste indirecto por el absentismo laboral, beneficios suplementarios y disminución de productividad, que se estiman en un promedio de 72.000 dólares por año de vida con discapacidad<sup>23</sup>.

## 2.3 Clasificación de la Lesión Medular Aguda Traumática (LMA)

### 2.3.1 Terminología

Desde el punto de vista terminológico, clásicamente se han empleado los prefijos para- y tetra- para hacer referencia si la afectación neurológica correspondía a ambos miembros inferiores o a las cuatro extremidades, respectivamente. Del mismo modo, el prefijo mono- hacía referencia a la parálisis parcial o completa de una de las cuatro extremidades, y hemi- cuando ambas extremidades de uno de los dos lados del cuerpo se encontraban afectada. El sufijo –plejía corresponde a la pérdida total de la función motora, mientras que –paresia lo era a la pérdida parcial de la misma, con conservación de cierta función. Así, por ejemplo, el término tetraparesia respondería a una clínica de pérdida de fuerza que afecta a las 4 extremidades, y hemiplejía derecha cuando era una pérdida completa de las funciones motoras del hemicuerpo derecho<sup>24</sup>.

### 2.3.2 Síndrome Medular Completo vs Incompleto

La diferenciación entre síndrome medular completo e incompleto es importante para poder determinar un pronóstico y a fin de orientar el tratamiento. Una de las claves para la correcta clasificación es examinar la presencia de función sensitiva y motora en el segmento S4-S5, la cual es posible de evaluar mediante la exploración táctil de la región perianal, el reflejo de contracción esfinteriana en el tacto anal y el reflejo bulbocavernoso<sup>25</sup>.

#### 2.3.2.1 Síndrome Medular Completo

Entre un 40 y un 50 % de los pacientes presentan un Síndrome de Lesión Medular Completo<sup>26</sup>. Está definida como la ausencia de función motora y sensitiva por debajo del nivel de la lesión en al menos 3 niveles consecutivos, en ausencia de Shock Medular. Aproximadamente el 3 % de pacientes con lesión medular completa presentan algún tipo de mejoría en las primeras 24 horas<sup>25</sup>. La capacidad

de recuperación más allá de las 72 horas es prácticamente nula<sup>25</sup>. Así mismo, la presencia de priapismo, la respuesta plantar extensora de forma prolongada y la hipotensión son considerados factores de mal pronóstico para la recuperación funcional<sup>26</sup>.

Tras la estabilización inicial, el médico responsable deberá permanecer alerta, especialmente en los casos de lesión medular completa y durante las primeras 72 horas, a la aparición de dos cuadros que pueden comprometer la vida del paciente o llevar a un examen erróneo de la función neurológica: shock neurogénico y shock medular<sup>27</sup>.

#### *2.3.2.1.1 Shock Medular*

Consiste en la pérdida transitoria de todos los reflejos (incluidos los reflejos segmentarios y polisinápticos) por debajo del nivel de la lesión<sup>28, 29</sup>. Se trata de un signo ominoso en los pacientes con LMA traumática. Es importante conocer el concepto, puesto que la exploración inicial del enfermo puede no ser un fiel reflejo de la disrupción de los circuitos neuronales. Así pues, cuando la entrada sensitiva medular se ve interrumpida, el patrón reflejo puede variar desde la arreflexia (e hipotonía) hasta la hiperreflexia (e hipertonía), en función del tiempo que haya pasado desde el momento en el que se ha producido la lesión. Por ello, se recomienda examinar periódicamente al paciente con LMA, al menos hasta las 72 horas posteriores al traumatismo<sup>29</sup>.

#### *2.3.2.1.2 Shock Neurogénico*

Esta condición asociada al traumatismo medular supone una potencial amenaza para la vida del paciente. Las consecuencias de un desconocimiento o un manejo deficitario de esta condición podrían ser fatales.



El shock neurogénico<sup>25</sup> está producido por una disrupción de las vías simpáticas (lesión por encima del sexto segmento torácico T6), manteniendo la integridad del sistema nervioso parasimpático, dando lugar a un fenómeno de inestabilidad hemodinámica caracterizado por:

- Hipotensión
- Bradicardia
- Disminución de la contractilidad cardíaca

Si bien teóricamente es fácil diferenciar el shock neurogénico del shock hipovolémico, en la práctica clínica no es tan sencillo. De hecho, es posible que ambos se presenten al mismo tiempo. Por ello, el Consorcio para la Medicina de la Médula Espinal (Consortium for Spinal Cord Medicine) recomienda descartar cualquier otra causa de shock antes de asumir el diagnóstico de shock neurogénico<sup>30</sup>. En este caso, la reposición de volumen sería la primera medida a realizar, y en el caso de que se mantuviera la hipotensión, la utilización de vasopresores estaría indicada. El objetivo marcado por las guías para mantener una adecuada perfusión es alcanzar una presión arterial media de 85 mm de Hg<sup>31</sup>.

#### 2.3.2.2 *Síndrome Medular Incompleto*

En el síndrome de lesión medular incompleto existe una preservación de la función sensitiva y/o motora más de 3 segmentos por debajo del nivel de la lesión<sup>32</sup>. Se presenta con mayor frecuencia que el síndrome medular completo<sup>26,33</sup>.

##### 2.3.2.2.1 *Tipos de síndromes Medulares Incompletos (Figura 1.2)*

A pesar de que la presentación clínica depende del nivel y de las fibras afectadas, siendo múltiples las posibilidades, existen ciertos síndromes asociados al traumatismo cervical que se presentan con mayor frecuencia.

El examen clínico ha sido, clásicamente, la manera de localizar este tipo de lesiones. En los puntos sucesivos, dentro de este apartado, se explican detalladamente la presentación clínica y la fisiopatología de los síndromes más importantes.

#### *2.3.2.2.1.1 Síndrome Centromedular*

Inicialmente descrito por Schneider<sup>34</sup>, es el subtipo de lesión incompleta medular más frecuente<sup>25</sup>. Tras el traumatismo se produce una afectación de la parte más central del cordón medular, lo que da lugar a la característica pérdida de fuerza en MMSS, con conservación de la misma en MMII, dado que las fibras motoras destinadas a los músculos de los miembros superiores tienen una distribución somatotópica más central que las fibras destinadas a los miembros inferiores que tienen una distribución periférica<sup>34, 35</sup>. Del mismo modo, suele producirse una alteración suspendida de la sensibilidad termoalgésica, debido a la decusación inmediata de las fibras que conforman el haz espinotalámico. Dentro del cuadro clínico, puede existir una afectación más o menos pronunciada del control de esfínteres<sup>34</sup>.

Está asociado a la hernia discal traumática<sup>36, 37</sup>, y con mayor frecuencia a las lesiones traumáticas producidas por un mecanismo de hiperextensión, fundamentalmente en personas mayores, donde se añade cierta estenosis del canal<sup>38, 39</sup>. De este modo, los osteofitos del cuerpo vertebral anteriormente, y el ligamento amarillo hipertrófico posteriormente, producen un pinzamiento a nivel medular que da lugar a la lesión mencionada. Es quizá, por ello, que estas lesiones se presentan con

cierta frecuencia en pacientes con lesión medular aguda sin evidencia tomográfica de traumatismo (SCIWOCTET) en pacientes adultos<sup>40</sup>. Dada esta última asociación, la RM es superior a la TC para el análisis de la lesión centromedular traumática. Al mismo tiempo, con las técnicas actuales es posible comprobar no sólo el estado de la médula espinal, sino también del ligamento amarillo y otros tejidos blandos<sup>40</sup>.

Típicamente es considerada como un tipo de lesión medular incompleta con buen pronóstico<sup>38</sup>, aunque algunos autores han cuestionado la benignidad del cuadro<sup>41</sup>. Estudios más recientes sobre el papel pronóstico de los hallazgos radiológicos han demostrado que la extensión del edema intramedular tiene un efecto determinante para la recuperación de la fuerza<sup>40</sup>. Se desconoce si la presentación clínica como síndrome centromedular en pacientes con SCIWOCTET es un factor pronóstico.

La indicación de descompresión quirúrgica es debatible y queda reservada para pacientes con escasa mejoría, en los que existe una alteración ósea –fractura, luxación, estenosis- identificable. (ver capítulo 4.2)

#### 2.3.2.2.1.2 *Hemisección Medular o Síndrome de Brown-Séquard*

La hemisección medular, también conocida como síndrome de Brown-Séquard, está caracterizada por el daño de una de las mitades de la médula espinal, afectando a todas las vías motoras y sensitivas de una de las dos hemimédulas<sup>42</sup>. Como resultado, existe una pérdida de fuerza y de la sensibilidad vibratoria ipsilaterales y una pérdida de la sensibilidad temoalgésica contralateral al lugar de la lesión. Este síndrome de lesión medular incompleto es infrecuente en lesiones traumáticas cerradas<sup>42-44</sup>. Es un síndrome típico descrito en los traumatismos cervicales y medulares penetrantes<sup>42</sup>.

<sup>45, 46</sup>, aunque los pacientes con síndrome de hemisección medular secundarias a traumatismo cerrado suelen tener un mejor pronóstico, alcanzando la mayoría una recuperación motora parcial o completa en casi la totalidad de los casos<sup>47, 48</sup>.

#### *2.3.2.2.1.3 Síndrome Medular Anterior*

En el síndrome medular anterior hay una lesión de los dos tercios anteriores (los correspondientes al territorio irrigado por la arteria medular anterior) de la médula espinal. Como consecuencia se produce una pérdida de la sensibilidad termoalgésica por la lesión del haz espinotalámico, y una pérdida de fuerza con signos de primera y segunda motoneurona, por la afectación del haz corticoespinal y las astas anteriores medulares. Además, por la localización anterior de vías descendentes que controla el núcleo de Onuf, puede aparecer incontinencia urinaria<sup>49</sup>. La presencia de un síndrome medular anterior en casos donde es evidente la persistencia de una compresión extrínseca medular asegura la indicación de la laminectomía descompresiva (Ver capítulo 4.2)

#### *2.3.2.2.1.4 Síndrome Cordonal Posterior*

Se trata de la pérdida bilateral de la sensibilidad vibratoria y posicional por debajo del nivel afectado, como resultado de la lesión de las columnas posteriores de la médula. Clínicamente, el paciente suele presentar una ataxia de la marcha con ampliación de la base de sustentación. Si la lesión es lo suficientemente grande, puede presentarse con síntomas de primera motoneurona<sup>49</sup>.

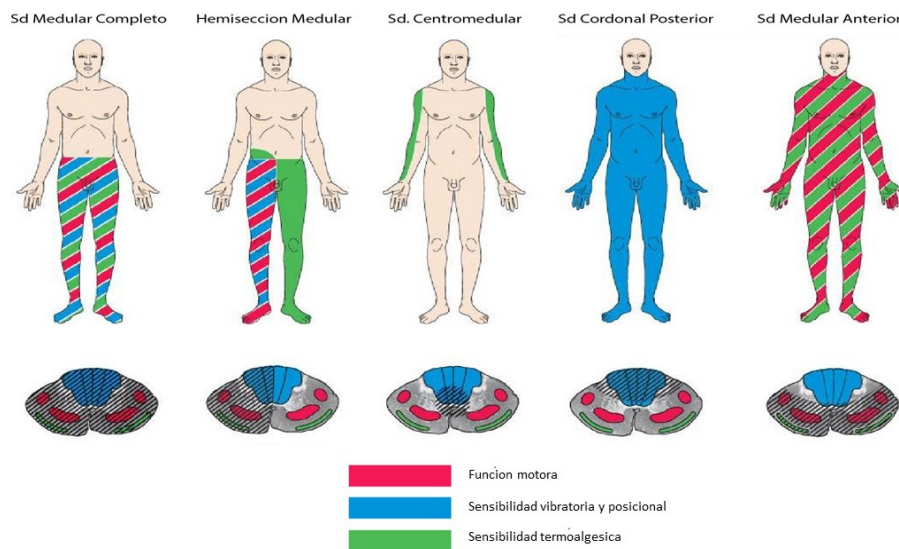


Figura 1.2. Representación gráfica de los síndromes medulares completos e incompletos

#### 2.4 EVALUACIÓN del daño medular (Frankle y ASIA)

La escala de discapacidad ASIA (*Amerian Spinal Injury Association*), basada en la escala de Frankel, es una escala que se utiliza para clasificar a individuos con LMA, según el grado de severidad del daño medular (*International Standards for Neurological Classification of Spinal Cord Injury*). En ella se identifica el nivel sensorial y motor correspondiente a la lesión, que queda definida como el nivel más alto donde la función (sensitiva o motora) se encuentra alterada. Determinar la integridad de la función en el segmento sacro S4-S5 es clave para determinar el grado. La función neurológica se clasifica en 5 grados, denominados desde A hasta E, correspondiendo A al déficit neurológico completo y E a la función normal. La escala de discapacidad ASIA es esencial para clasificar a los pacientes con LMA de acuerdo a su grado de función neurológica a nivel medular y es la clasificación más usada<sup>50</sup>.

<b>Grado A</b>	<b>Completa.</b> Ausencia de función motora o sensitiva en los segmentos sacros S4-S5
<b>Grado B</b>	<b>Incompleta.</b> Función sensitiva preservada por debajo del nivel de la lesión neurológica. Ausencia de función motora por debajo del nivel lesional, incluyendo los segmentos sacros S4-S5.
<b>Grado C</b>	<b>Incompleta.</b> Función motora preservada por debajo del nivel de la lesión, en el que al menos la mitad de los grupos musculares tienen un balance muscular inferior a 3.
<b>Grado D</b>	<b>Incompleta.</b> Función motora preservada por debajo del nivel de la lesión, en el que al menos la mitad de los grupos musculares tienen un balance muscular igual o superior a 3.
<b>Grado E</b>	<b>Normal.</b> Función sensitiva y motora normal.

Tabla 1.4. Escala de discapacidad ASIA para la clasificación de la lesión medular aguda<sup>50</sup>.

<b>0</b>	<b>Ausencia de función motora. No contracción muscular.</b>
<b>1</b>	<b>Contracción muscular, sin producir rango completo de movimiento</b>
<b>2</b>	<b>Rango de movilidad completo que claudica con la gravedad. Es capaz de movilizar en el plano.</b>
<b>3</b>	<b>Rango de movilidad completo que vence gravedad, pero no resistencia</b>
<b>4</b>	<b>Rango de movilidad completo que vence resistencia</b>
<b>5</b>	<b>Fuerza normal</b>

Tabla 1.5. Puntuación para valorar el balance muscular.

Patient Name \_\_\_\_\_  
 Examiner Name \_\_\_\_\_ Date/Time of Exam \_\_\_\_\_

**ASIA** INTERNATIONAL STANDARDS FOR NEUROLOGICAL CLASSIFICATION OF SPINAL CORD INJURY **ISCOS**

**MOTOR**  
 KEY MUSCLES (scoring on reverse side)

	R	L
C5		
C6		
C7		
C8		
T1		

UPPER LIMB TOTAL (MAXIMUM)  +  =  (25) (25) (50)

Comments: \_\_\_\_\_

L2 ☐ Hip flexors  
 L3 ☐ Knee extensions  
 L4 ☐ Ankle dorsiflexors  
 L5 ☐ Long toe extensors  
 S1 ☐ Ankle plantar flexors

(NAC) Voluntary anal contraction (Yes/No) ☐

LOWER LIMB TOTAL (MAXIMUM)  +  =  (25) (25) (50)

**SENSORY**  
 KEY SENSORY POINTS

0 = absent  
 1 = altered  
 2 = normal  
 NT = not testable

Light Touch: C2, C3, C4, C5, C6, C7, C8, T1, T2, T3, T4, T5, T6, T7, T8, T9, T10, T11, T12, L1, L2, L3, L4, L5, S1, S2, S3, S4-5

Pain: C2, C3, C4, C5, C6, C7, C8, T1, T2, T3, T4, T5, T6, T7, T8, T9, T10, T11, T12, L1, L2, L3, L4, L5, S1, S2, S3, S4-5

Pin Prick: C2, C3, C4, C5, C6, C7, C8, T1, T2, T3, T4, T5, T6, T7, T8, T9, T10, T11, T12, L1, L2, L3, L4, L5, S1, S2, S3, S4-5

TOTALS (MAXIMUM)  (50) (50) (50) (50) =

(DAP) Deep anal pressure (yes/no) ☐  
 PIN PRICK SCORE (max: 112)   
 LIGHT TOUCH SCORE (max: 112)

**NEUROLOGICAL LEVEL**  
 The most caudal segment with normal function

**SINGLE NEUROLOGICAL LEVEL**

**COMPLETE OR INCOMPLETE?** ☐  
 Incomplete = Any sensory or motor function in S4-S5

**ASIA IMPAIRMENT SCALE (AIS)**

**ZONE OF PARTIAL PRESERVATION**  
 Most caudal level with any preservation

**Key Sensory Points**

REVISION 04/11

**Figura 1.3. Puntuación escala ASIA**

## 2.5 Lesión Medular Aguda sin evidencia tomográfica –radiológica- de Traumatismo (SCIWOCTET, acrónimo del inglés Spinal Cord Injury Without Evidence of Trauma)

Inicialmente se pensaba que el SCIWOCTET era una entidad nosológica que afectaba exclusivamente a pacientes en edad pediátrica<sup>51</sup>: la desproporción entre el volumen de la cabeza con el respecto al cuerpo, y la mayor elasticidad de los tejidos, especialmente en los niños más pequeños, son considerados los responsables de producir compresiones momentáneas a nivel medular que ocasionan déficits neurológicos, correspondientes a una LMA. En los últimos años

ha surgido un número creciente de publicaciones que sugieren que esta patología también ocurre en adultos<sup>52,53</sup>. En estos pacientes, las pruebas de imagen como la TC o la radiología simple revelan cambios degenerativos a nivel cervical<sup>53</sup>. De este modo, la médula espinal se encuentra encerrada en un canal estrecho, favoreciendo que, a su vez, traumatismos de baja intensidad puedan provocar una agresión en el tejido neural que den lugar a la clínica correspondiente a una lesión medular<sup>18</sup>.

Gracias al desarrollo de la RM es posible identificar alteraciones y cambios de señal intramedulares, asociados con mayor o menor déficit neurológico<sup>54-56</sup>. Por ello, en los últimos años se ha preferido cambiar el término de LMA sin datos radiológicos de anormalidad (SCIWORA, del inglés Spinal Cord Injury Without Radiological Abnormality), por el de LMA sin datos en la tomografía que sugieran traumatismo (SCIWOCTET). Quedan incluidos en la nueva definición, por tanto, las alteraciones intramedulares, hematomas extradurales o lesiones ligamentosas únicamente visualizadas en la RM, mucho más sensible a este tipo de lesiones<sup>18, 52, 54</sup>.

Tradicionalmente, se ha considerado que el SCIWOCTET es una entidad dentro de la LMA con un pronóstico relativamente benévolo y buena recuperación neurológica, en los que raramente queda indicada la cirugía. Este hecho ha llevado a algunos autores<sup>57</sup> a cuestionar el verdadero papel de la RM en esta patología. No obstante, la mayoría de la literatura referente a esta patología es escasa en adultos y queda limitada a unos pocos casos clínicos o series de casos con un número de pacientes limitado<sup>53, 56</sup>. Este dato crea una razonable duda sobre la posible existencia de un sesgo de selección que cuestione la validez de la mayoría de las creencias hasta la fecha. De hecho, otras series recientes<sup>52, 58</sup> demuestran que existe un grupo de pacientes con un mayor grado de afectación neurológica, los cuales presentan también mayores cambios de señal intramedular.



Podríamos decir, pues, que la SCIWOCTET es una patología de origen traumático, en la que el papel de la TC y la radiología simple es limitado y en el que la integridad de las estructuras de soporte no visibles en la radiología convencional, cabría pensar, juegan un papel fundamental, especialmente en aquellos enfermos con un mayor grado de afectación clínica y con menores probabilidades de mejoría. Determinar, de forma precoz, qué pacientes tienen menos probabilidad de mejoría, nos ayudaría a establecer una evidencia sólida sobre la que sustentar futuros trabajos para la indicación de tratamientos estabilizadores más agresivos para pacientes con SCIWOCTET.

### **3. MANEJO DE LA LESIÓN MEDULAR CERVICAL TRAUMÁTICA**

#### **3.1 Manejo prehospitario**

El manejo de cualquier paciente traumatizado debe estar regido por el protocolo instaurado de acuerdo a las guías de la ATLS (Advance Trauma Life Support). En el caso de la lesión medular traumática, las dos principales causas de mortalidad son el fallo respiratorio y el shock<sup>27</sup>, motivos por los cuales es de especial importancia iniciar el manejo en el lugar del accidente, siguiendo los principios básicos ABCS (Airway → Breathing → Cardiocirculatory).

Habría que sospechar de lesión medular traumática en todos aquellos pacientes que se encuentren inconscientes, presenten focalidad neurológica con sospecha de lesión medular (priapismo), víctimas de trauma significativo (caída de altura, accidente de tráfico a gran velocidad, politraumatizados), pacientes con traumatismo menor con quejas referidas a la columna cervical<sup>25</sup>.

Todos los pacientes con sospecha de lesión cervical deberán ser inmovilizados con collarín cervical rígido y transportados en bloque<sup>31</sup>.

#### **3.2 Llegada al hospital**

Tras la estabilización inicial y el control del resto de lesiones, los pacientes con traumatismo cervical y sospecha de lesión medular deberán ser examinados en su llegada al hospital. La escala ASIA es el método recomendado para establecer una valoración de la función neurológica, de acuerdo las guías de manejo de la lesión medular cervical traumática<sup>31</sup>.

Se recomienda el manejo de los pacientes con lesión medular cervical en una unidad de cuidados intensivos o similar, que permita un estrecho control cardíaco, hemodinámico, y dispositivos de asistencia respiratoria, en el caso de que se requirieran por insuficiencia respiratoria<sup>31, 59, 60</sup>.

El collarín cervical podrá ser retirado tras descartar la presencia de una lesión potencialmente inestable o de lesión medular traumática cervical<sup>31</sup>. En los pacientes conscientes, orientados y despiertos que presenten dolor a nivel cervical bastará con asegurar la inexistencia de alteraciones, mediante la realización de radiografías dinámicas o la realización de una RM en las primeras 48 horas<sup>31</sup>. En cualquier caso, la indicación de retirada del collarín dependerá del médico responsable y tendrá que valorar los riesgos y beneficios de tal decisión, a modo de asegurar el mejor tratamiento para el paciente<sup>31</sup>.

#### 4. EVIDENCIA ACTUAL EN EL TRATAMIENTO

Los avances recientes en el tratamiento de la LMA traumática proceden de una mejor comprensión del daño medular secundario y del desarrollo de estrategias de neuroprotección, tanto en el tratamiento médico como en el quirúrgico. Hablando desde un punto de vista general, estas estrategias de neuroprotección serán más eficientes cuando se aplican precozmente, evitando así, la sucesión de eventos que componen cascada enzimológica y que dan lugar al daño medular secundario.

Entre las medidas terapéuticas actuales podemos diferenciar el avance en terapias médicas y terapias que incluyen tratamiento ortopédico y/o quirúrgico:

##### 4.1 Tratamiento médico/Manejo conservador

Los ensayos clínicos realizados en humanos para el tratamiento médico de la LMA traumática han centrado su estudio, fundamentalmente, en dos agentes neuroprotectores: metilprednisolona<sup>61-64</sup> y GM-1 (Sygen)<sup>65</sup>. Es la metilprednisolona el único fármaco que, hasta la fecha, ha demostrado ciertos beneficios cuando es administrada de forma precoz, aunque si bien el uso de corticoesteroides acarrea otros riesgos que ponen en duda que su uso deba estar indicado<sup>31</sup>.

Metilprednisolona. El verdadero beneficio del uso de corticoesteroides en el tratamiento de la LMA traumática sigue siendo, a día de hoy, un asunto controvertido. El papel de los mismos en la LMA traumática ha sido estudiado en una serie de tres ensayos clínicos multicéntricos prospectivos, que se reúnen bajo las siglas NASCIS (del inglés, *National Acute Spinal Cord Injury Study*). Si bien

el NASCIS II no demostró resultados favorables en el uso de metilprednisolona con respecto a placebo, el análisis por subgrupos demostró cierta mejoría en los pacientes tratados en las primeras 8 horas tras el trauma<sup>62</sup>. El NASCIS III demostró que si bien dosis más elevadas de metilprednisolona se asociaban con mejoría neurológica, también presentaban mayor riesgo de complicaciones<sup>63</sup>. Bracken concluye en una revisión de 3 estudios clínicos que dosis elevadas de corticoesteroides se asocian con una modesta mejoría desde el punto de vista neurológico, sin un aumento significativo del número de complicaciones<sup>66</sup>. Por otro lado, dado que la LMA traumática se trata de una entidad heterogénea, parece que el subgrupo de LMA traumática cervical presentaba un menor índice de complicaciones con el uso de esteroides<sup>67</sup>. A pesar de todo lo expuesto, la AANS (*American Association of Neurological Surgeons*) y la CNS (*Congress of Neurological Surgeons*) desaconsejan el uso de corticoides en los pacientes con LMA traumática por el riesgo de presentar otras complicaciones<sup>31</sup>. El metanálisis más reciente<sup>68</sup>, que incluye cuatro ensayos clínicos randomizados y 18 estudios observacionales, concluye que los corticoesteroides no mejoran significativamente la función motora a largo plazo, y que la evidencia que sugiere algún beneficio cuando se administran en las primeras 8 horas es limitado.

#### 4.2 Tracción-Reducción/Tratamiento quirúrgico

Existe poca evidencia sólida sobre el manejo ortopédico y quirúrgico de las fracturas cervicales subaxiales. Todas las recomendaciones existentes muestran un nivel de evidencia III y están basadas, en su mayoría, en series clínicas y estudios retrospectivos<sup>31</sup>. De forma resumida:

- Lesiones cervicales subaxiales que implican luxación facetaria: está indicada la reducción externa o interna de este tipo de lesiones (Nivel III). No queda claro si la RM cervical previo a

la reducción es beneficiosa para estos pacientes, y queda como opción (Nivel III). Tras la reducción las opciones que existen son inmovilización externa y artrodesis anterior o posterior con placas y tornillos (Nivel III). Cuando no existan alternativas quirúrgicas, la tracción con halo realizada en la cama estará indicada (Nivel III). No existe consenso en el modo más adecuado para tratar las dislocaciones facetarias uni y bilaterales<sup>69-74</sup>

\* Respecto a la realización de RM<sup>31, 75</sup> en relación a la reducción ortopédica: la RM está indicada en pacientes que precisen de reducción, pero en los que no sea posible monitorizar o realizar una exploración neurológica. Del mismo modo, también estará indicada para aquellos casos en los que la reducción no haya sido posible (Nivel III).

- Lesiones cervicales subaxiales que no implican luxación facetaria<sup>31</sup>: está indicada la reducción (abierta o cerrada) de las fracturas o luxaciones que presenten un desplazamiento considerable (Nivel III). Las opciones de tratamiento son la inmovilización externa y la artrodesis anterior o posterior (Nivel III).
- Laminectomía descompresiva<sup>76</sup>: La laminectomía descompresiva no ha mostrado beneficio alguno en pacientes con lesión medular completa<sup>77</sup> y además se ha asociado a empeoramiento neurológico y clínico en algunos casos<sup>25</sup>. Por ello, es necesario seleccionar aquellos pacientes que se beneficien del tratamiento, sin incurrir en un riesgo que no está justificado. En general, la laminectomía descompresiva está reservada para los pacientes con lesiones incompletas que tras los intentos por reducir la lesión el paciente siga presentando compresión extrínseca y además muestre alguno de los siguientes factores: 1) progresión de la clínica neurológica, 2) compromiso medular por estructuras óseas o tejidos blandos, 3) fractura conminuta o penetrante, 4) síndrome medular anterior, 5) fractura-luxación facetaria no reducible mediante

tracción externa. Esta intervención está contraindicada para los pacientes con lesiones medulares completas, y pacientes medicamente inestables.

\* Síndrome Centromedular. Existe discordancia respecto al papel de la laminectomía en los pacientes con síndrome centromedular, pues si bien algunos autores inicialmente apostaron porque la cirugía podía empeorar una condición con un buen pronóstico general<sup>34</sup>, existen cada vez más defensores de que no existe una evidencia realmente sólida que sustente esta afirmación<sup>36, 78</sup>.

\* Laminectomía precoz. Tal como avanzamos al inicio del capítulo, sería lógico pensar que con el fin de tratar de evitar las cascadas enzimáticas que dan lugar a la progresión del LMA secundario, las terapias implementadas serán más eficaces cuando se apliquen con la mayor prontitud posible, y en el menor lapso de tiempo desde que ocurre en el traumatismo. A este respecto, sobre cuando usar la laminectomía precoz, las opiniones de los primeros expertos arrojaban cierta controversia. El beneficio de la laminectomía descompresiva ha quedado demostrada en animales cuando esta se aplica de forma precoz<sup>79, 80</sup>. En este contexto, el estudio STASCIS (del inglés *Surgical Timing in Acute Spinal Cord Injury Study*) demostró que existe un beneficio claramente significativo en la mejoría a los 6 meses cuando la laminectomía se realizaba en las primeras 24 horas, sin tener un mayor riesgo de complicaciones que cuando la laminectomía se realizaba de forma diferida<sup>67</sup>.

A pesar de que, clásicamente, la indicación de tratamiento quirúrgico en las fracturas cervicales se ha basado en unos criterios biomecánicos de estabilidad, mediante la clasificación de Allen<sup>3</sup>, existe un subgrupo de lesiones, sobre las cuales se ha hecho mención aparte: las luxaciones facetarias<sup>81</sup>. Este tipo de lesiones han sido clasificadas por Vaccaro<sup>10</sup> como altamente inestables, siendo un criterio importante para indicar tratamiento quirúrgico. Lo que no está tan claro es si la reducción de las

luxaciones facetarias debe ser cerrada (esto es, mediante tracción) o abierta (durante el procedimiento quirúrgico, lo cual permite directa observación y mejor control de las estructuras nerviosas)<sup>75</sup>. La mayoría de autores coinciden en que la reducción cerrada se puede realizar de una forma segura en pacientes que están conscientes y en los que se puede realizar una exploración neurológica<sup>82-84</sup>. No obstante, en los pacientes sedados o con bajo nivel de conciencia, existe una creciente evidencia de que realizar la reducción cerrada no es un procedimiento seguro y quizá, sea preciso hacerlo mediante una técnica abierta y/o previa realización de una RM<sup>85</sup>.

Otra de las grandes controversias estriba en el abordaje elegido para cada lesión<sup>86</sup>. De forma generalista, las lesiones pueden ser tratadas mediante abordaje anterior, abordaje posterior, abordajes combinados, uso o no de inmovilización externa. El abordaje más apropiado dependerá, en cada caso, de varios factores: 1) grado de inestabilidad de la fractura 2) presencia de hernia discal cervical y compromiso anterior 3) posibilidad de reducir la lesión o no, mediante un abordaje anterior 4) grado de compromiso medular y localización predominante del mismo<sup>75</sup>. Además, el criterio y experiencia del neurocirujano y los recursos del centro son otros factores que influirán en el manejo<sup>31</sup>.



## 5. ESTUDIO RADIOLÓGICO

### 5.1 Manejo inicial y Criterios Nexus

En la urgencia, ante la llegada de un paciente con traumatismo cervical, la evaluación inicial precisa de la realización de radiología simple o de TC, dependiendo de la gravedad<sup>31</sup>. La RM ofrece información adicional sobre la integridad de estructuras de soporte y tejidos blandos y permite una observación directa del verdadero daño medular, sin necesidad de hacer inferencias derivadas del estudio del mecanismo de lesión<sup>6,7</sup>.

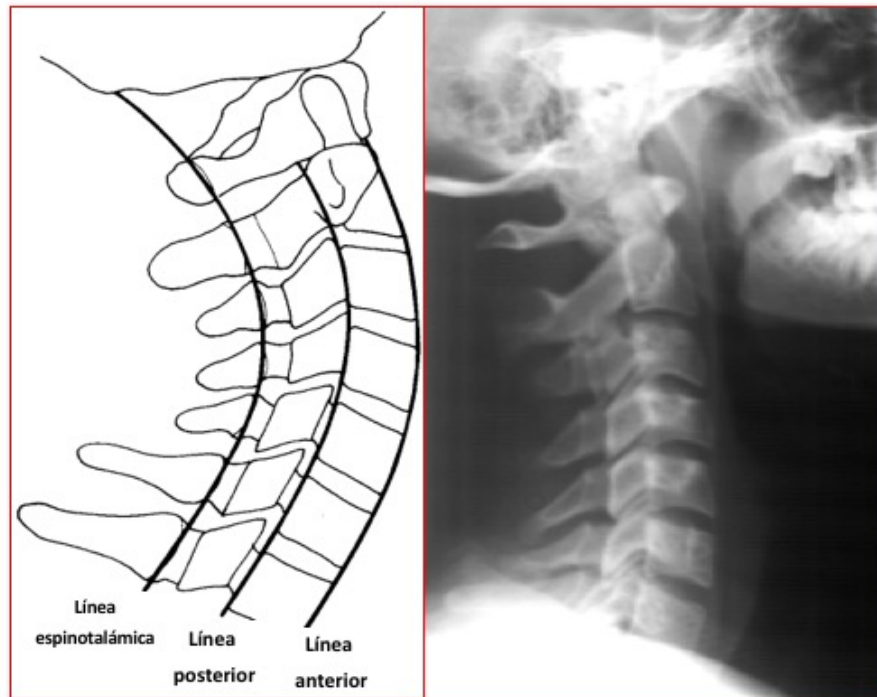
¿Cómo seleccionamos a los pacientes que precisan de una u otra prueba radiológica, de acuerdo a unos criterios de coste-eficiencia, pero sin perjudicar o poner en riesgo desmesurado a los pacientes que sufren traumatismo cervical? ¿Cuándo es necesaria la realización de una TC? ¿Es siempre necesario realizar una radiografía en los pacientes con latigazo cervical? El American College of Radiology acepta el criterio de las guías del National Emergency X-Radiography Utilization Study (NEXUS)<sup>87</sup> y de la Canadian Cervical Spine Rule (CCSR)<sup>88</sup> en su método de cribado de pacientes con traumatismo cervical antes de realizar imágenes de la columna cervical. Así pues, de acuerdo a estos criterios, los pacientes conscientes, orientados, sin presencia de otras lesiones o dolores distractores y con una exploración cervical normal, ante un traumatismo cervical de baja energía, el paciente puede ser dado de alta sin la necesidad de realizar una prueba de imagen y retirando la inmovilización cervical<sup>25, 31, 89</sup>. La radiología simple no ha demostrado que incremente la sensibilidad, ni la especificidad de la anamnesis y exploración física por sí solas en este subgrupo de pacientes<sup>90</sup>.

## 5.2 Radiología simple

De acuerdo a las guías de manejo del paciente con lesión medular cervical traumática<sup>31</sup>, existe una evidencia clase I para realizar estudios completos de radiología simple (Anteroposterior, lateral y transoral) en los pacientes sintomáticos. La proyección lateral debe incluir la unión cervicotorácica C7-T1. En el caso de que quede oculta por la articulación glenohumeral, la proyección con brazos extendidos por encima de la cabeza (postura del nadador) ha resultado útil.

La radiología simple ha demostrado una sensibilidad que varía entre el 39 y el 89 por ciento y una especificidad próxima al 90 % en comparación con la TC<sup>91-93</sup>. Por tanto en los casos que aún resultando normal la radiología simple, pacientes con bajo nivel de conciencia, que sigan reportando quejas a nivel cervical o presenten traumatismo grave requieren de pruebas adicionales. Generalmente, el siguiente paso será realizar una TC.

Del mismo modo, además de la aparición de signos claros de fractura (discontinuidad de señal en la cortical del hueso) o luxación (alteración de la alineación de las líneas vertebrales en la proyección lateral, figura 1.4) existen ciertos datos inespecíficos que pueden hacernos pensar en lesión cervical y requerirán de estudios de imagen adicionales (tabla 1.6).



**Figura 1.4.** Líneas cervicales en la radiografía simple. Proyección lateral

---

### Signos radiológicos de traumatismo cervical

---

#### Alteración de tejidos blandos

- A. Ensanchamiento del espacio retrofaríngeo (>7 mm)
- B. Ensanchamiento del espacio retrotraqueal (>14 mm)
- C. Desplazamiento de la grasa prevertebral
- D. Desviación de la tráquea y laringe

---

#### Alteración de la alineación vertebral

- A. Pérdida de la lordosis cervical
- B. Deformidad cifótica aguda
- C. Ensanchamiento del espacio interespinoso
- D. Rotación de los cuerpos vertebrales (luxación unilateral)

---

#### Alteración de la unión articular

- A. Ensanchamiento del espacio atlanto-axial
- B. Ensanchamiento/reducción del espacio intersomático
- C. Ensanchamiento de la unión interapofisaria

---

**Tabla 1.6.** Signos radiológicos de traumatismo cervical. Adaptación del trabajo: “Twelve significant signs of Cervical Spine Trauma” (Clark 1979)

Radiografías dinámicas: Inicialmente, era una prueba altamente utilizada en los casos de dudosa inestabilidad. Una lesión puramente ligamentosa, podía pasar desapercibida en la radiología simple (estática) si no estaba asociada a una alteración ósea grosera. La radiología dinámica permite la identificación de este tipo de lesiones. Dichas radiografías no podían indicarse en la fase aguda del trauma, sino que solían indicarse a las 2 o 3 semanas después del traumatismo<sup>94</sup>. En el momento actual, las lesiones ligamentosas ocultas son diagnosticadas con la RM cervical, la cual posee una sensibilidad y especificidad mucho mayor<sup>95, 96</sup>. Actualmente, la radiología dinámica es raramente indicada, dado su alto coste-efectividad, la demora en el diagnóstico y la existencia de alternativas viables (RM)

### 5.3 Tomografía Computerizada (TC)

La TC es el estándar oro para la evaluación de la lesión ósea en el traumatismo cervical. La TC es superior a la radiología simple para la detección de lesiones clínicamente significativas en el trauma cervical<sup>97, 98</sup>.

La radiología simple es una prueba rápida, accesible y de bajo costo, aunque con una sensibilidad inferior a la TC para detectar lesiones óseas<sup>97-100</sup>. Además, las nuevas generaciones de TC han demostrado una mayor rapidez en la adquisición de imágenes que un estudio de radiología completo<sup>101</sup>. Si incluimos los costes derivados del fallo de detección de alguna fractura y sus consecuencias, la TC ha demostrado ser mucho más eficiente que la radiología simple<sup>102</sup>. Es por ello que algunos autores han cuestionado la utilidad de realizar ambas técnicas Rx simple y TC en un paciente con traumatismo cervical<sup>101, 102</sup>. Otros grupos de trabajo han llegado a sugerir que la TC sea la técnica de elección en los hospitales de referencia en Trauma<sup>103</sup>. Lo que sí parece claro, es que la TC debe estar indicado en

pacientes con datos sospechosos en la radiología simple y en pacientes comatosos, con bajo nivel de conciencia, politraumatizados o procedentes de accidentes a gran velocidad ( $>40$  km/h)<sup>31, 104</sup>.

Por otro lado, el valor predictivo positivo y negativo de la TC es del 78 y 98%, respectivamente, con respecto a la RM de acuerdo a un estudio, siendo mayor en los pacientes que presentan algún tipo de focalidad neurológica<sup>105</sup>. No obstante, la RM no reemplaza a la TC en la evaluación de la lesión ósea. Algunas fracturas, especialmente a nivel cervical y en aquellas fracturas que no están desplazadas o las que afectan al muro posterior pueden resultar difíciles de diagnosticar mediante RM<sup>106, 107</sup>. La RM se trataría, por tanto y en cualquier caso, de una prueba añadida al despistaje por la TC.

#### 5.4 Resonancia Magnética (RM)

No queda claro si el uso rutinario de la RM en el estudio del traumatismo cervical es beneficioso y ofrece ventajas desde el punto de vista costo-efectivo<sup>105, 108, 109</sup>. Existen autores cuyos estudios sugieren que la RM cervical no es una técnica que permita un cambio drástico del manejo de algunos enfermos, puesto que, a pesar de su capacidad para detectar lesiones en tejidos blandos, en la mayoría de ocasiones dichas alteraciones no son suficientes como para sugerir un cambio de tratamiento<sup>108-110</sup>. Como contraste, Sliker y colaboradores<sup>111</sup> encontraron que hasta una quinta parte de los pacientes comatosos o sedados presentan alteraciones ligamentosas que pasaron desapercibidas en el resto de pruebas diagnósticas, y en el 80 % de estos casos, requirieron tratamiento quirúrgico. En esta misma línea, el grupo de trabajo de Menaker<sup>112</sup> encontró que la RM cambió la indicación de tratamiento en 7.9 % de pacientes con una TC negativa. No obstante, en lo que sí parece que existe cierto acuerdo es en el uso de la RM en aquellos casos donde la clínica no se correlaciona bien con los hallazgos en las

pruebas radiológicas convencionales, o en aquellos casos que siguen presentando déficit neurológico a pesar de la normalidad del resto de pruebas radiológicas<sup>31, 111, 112</sup>.

La RM cervical permite realizar un estudio directo de la lesión medular y de la integridad de los tejidos blandos<sup>113</sup>. La RM cervical tiene una sensibilidad limitada para el estudio de la integridad ósea, aunque las fracturas que implican gran desplazamiento o luxaciones son fácilmente identificables. El único tipo de fracturas en los que la sensibilidad es superior a la TC son aquellas fracturas por compresión que pasan desapercibidas en la TC, dado que la cortical se encuentra íntegra, pero que producen un aumento de señal en T2, fruto del edema óseo, el cual no es posible de visualizar con la TC helicoidal<sup>113</sup> (Figura X).



Figura 1.5. Fractura por compresión. (A) TC reconstrucción sagital demuestra la presencia de disminución de la altura de 3 cuerpos vertebrales continuos a nivel de la unión cervico-dorsal, sin apreciarse, en cambio, una clara discontinuidad cortical. La RM (B), secuencia T2 cortes sagitales, muestra un aumento de señal a nivel de los cuerpos de las vértebras correspondientes, indicativo de edema, lo que sugiere que la fractura por compresión es de tipo agudo.

La RM constituye, hasta el momento, el único test radiológico capaz de disponer de un examen objetivo de la arquitectura interna de la médula espinal<sup>113</sup>. De este modo, la RM provee de información necesaria para determinar el pronóstico de los pacientes con un traumatismo cervical.

No obstante, la LMA cervical traumática es un fenómeno dinámico, mientras que la RM ofrece información sobre el estado medular en un momento preciso. Las alteraciones que se observan en la RM están sometidas a una evolución continua a lo largo del tiempo, los cuales son a su vez determinados por el daño medular secundario. Leypold<sup>114</sup> estudió los cambios que se producían en la hiperintensidad de señal a lo largo del tiempo y calculó que el edema intramedular progresaba a razón de 1 cm al día. También se producen cambios derivados de reacciones químicas producidas a nivel intramedular, que a su vez producen un efecto en la imagen emitida. Así pues, en la fase aguda del hematoma intramedular, la deoxihemoglobina que conforma la mayor parte de dicho hematoma produce una imagen hipointensa en T2 e iso-intensa a hiperintensa en T1. Al cabo de una semana, la deoxihemoglobina se transforma en metheoglobina, dando lugar a una señal aumentada en ambas secuencias T1 y T2<sup>115-117</sup> (Figura 1.6)

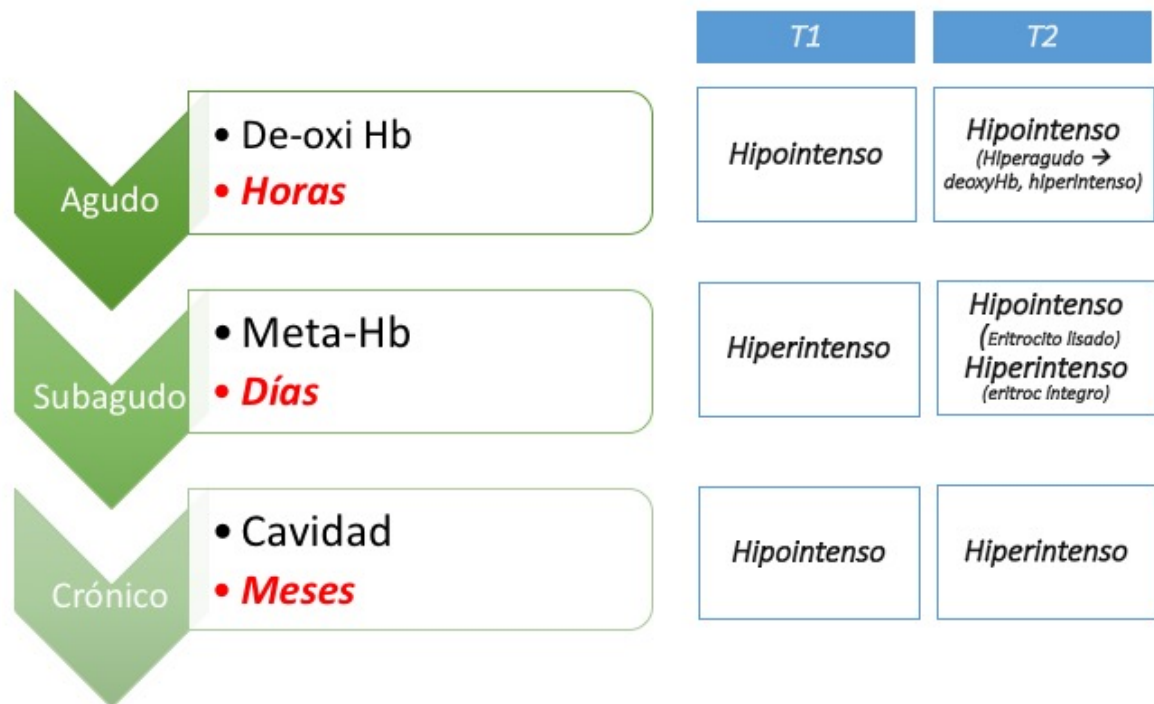


Figura 1.6. Evolución temporal del hematoma medular. Composición química y cambios de señal en la RM en secuencias T1 y T2. (\*Hb = Hemoglobina)

Como hemos adelantado anteriormente, la RM tiene por un lado un rol en el manejo del traumatismo cervical, pues permite guiar la indicación quirúrgica o el tratamiento conservador, y por otro lado, permite establecer un pronóstico sobre la evolución de los enfermos con un traumatismo cervical. Ambas funciones son especialmente importantes en pacientes donde la exploración neurológica no es fiable (TCE grave asociado, sedación, dolor distractor). Es por ello, que una identificación temprana de los pacientes con mayor riesgo de una mala evolución permite una actuación que aminore en la medida de lo posible los efectos del daño medular secundario, al ofrecer un tratamiento acorde con las necesidades del paciente. Podríamos concluir, que la RM temprana es la que aporta un mayor beneficio si tenemos en cuenta lo citado anteriormente. Por otro lado, la realización de una RM temprana puede resultar comprometida La disponibilidad de una RM en las primeras 72 horas es limitada en la mayoría de centros a nivel nacional en la actualidad. Además, el



largo tiempo para la realización y adquisición de las imágenes, el traslado de enfermos que requieren de soporte respiratorio u otros tratamientos, suponen que en gran parte de las ocasiones la realización de una RM temprana sea un reto. Este hecho es común en pacientes politraumatizados que se encuentran bajo observación en la Unidad de Cuidados Intensivos. Paradójicamente, son estos enfermos, donde la exploración neurológica no es fiable, en los que la RM puede tener mayor utilidad<sup>8</sup>. Además, el uso rutinario de la RM en el trauma cervical sin déficit neurológico ni otros factores de riesgo es más que controvertido y su uso rutinario en los protocolos de estudio del trauma no está indicado<sup>105, 109</sup>.

La utilidad pronóstica de la RM ha estado supeditada al valor de la función neurológica al ingreso. Queda por conocer, a nivel científico, el verdadero valor de la RM, teniendo en cuenta también la influencia de la exploración neurológica. Como hemos anticipado anteriormente, existen ciertas circunstancias que ponen en duda la validez pronóstica del examen médico (politraumatizados,, pacientes sedados...). Estas limitaciones son más evidentes en las primeras 72 horas después del trauma, de acuerdo a los análisis de Cadotte<sup>8</sup>. Es aquí, donde la RM precoz cobra especial relevancia, pues podría suplir las carencias de la exploración, en el total de los pacientes traumatizados, y especialmente, en el subgrupo de pacientes más graves.

Entre los hallazgos radiológicos de la RM que actualmente generan interés desde el punto de vista diagnóstico, pero también pronóstico, podemos clasificarlos, por motivos didácticos, en intramedulares o extramedulares. Consideraremos como intramedulares aquellos que se manifiestan en el espesor de la médula espinal. En contraposición, los extramedulares se producen por cambios o alteraciones en estructuras circundantes: canal espinal, ligamentos, disco intervertebral, tejidos blandos, etc... (Figuras 1.7 y 1.8)

#### Hallazgos radiológicos intramedulares:

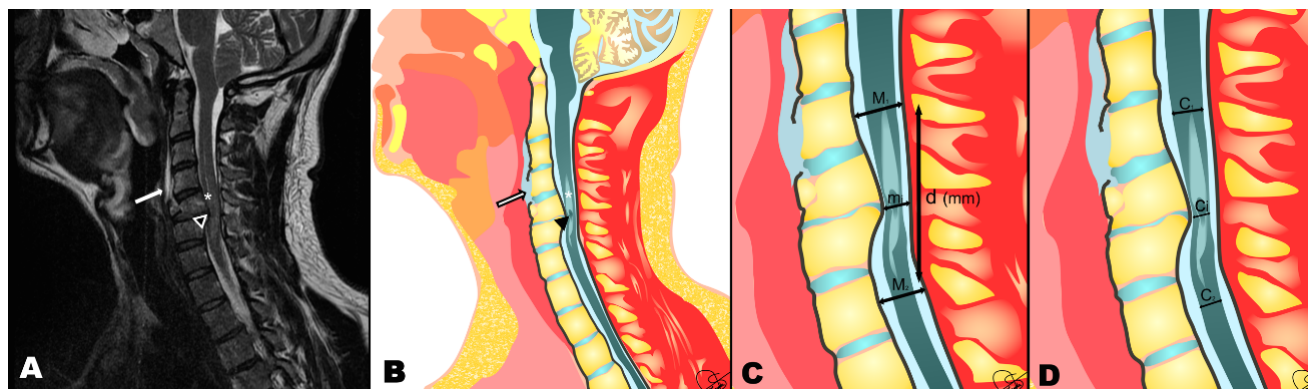
- El edema medular se identifica como un aumento de señal en secuencias de T largo (T2)<sup>9</sup>. Refleja la respuesta postraumática de la médula espinal, presentándose como acumulación de líquido en el espacio extracelular<sup>118-120</sup>.
- Hematoma intramedular. En la RM en fase precoz suele visualizarse como una hipointensidad en T2, en el espesor del edema intramedular (hiperintensidad)<sup>9</sup>. La secuencia Eco de gradiente es muy sensible para la detección de este tipo de lesiones, al producirse un vacío de señal por la presencia de partículas de hemosiderina<sup>121</sup>. El hematoma intramedular suele encontrarse en el espesor de la sustancia gris en la médula y se asocia de forma casi invariable con la presencia de edema medular<sup>113</sup>.
- Swelling medular queda definido como un engrosamiento focal de la médula espinal, en comparación con el segmento sano adyacente<sup>9</sup>

#### Hallazgos radiológicos extramedulares:

- La disrupción de ligamentos (LCA, LCP o LF) o del disco intervertebral. Los ligamentos suelen verse en secuencias T2 y STIR como estructuras hipointensas. La rotura completa se muestra como una discontinuidad en secuencias T2, si bien, el daño ligamentario sin rotura se observa como un aumento de señal focal en secuencias T2/STIR (22 S & F). La secuencia denominada STIR (del inglés Short T1 Inversion Recovery) ha mostrado una mayor sensibilidad para detectar este tipo de lesiones y buena correlación con los hallazgos intraoperatorios<sup>95</sup>. Las secuencias de supresión grasa y T1 permiten aumentar la especificidad de la lesión ligamentosa<sup>113</sup>.
- Compromiso medular. Las variables que mejor representan dicho compromiso, de manera que expresan una cuantificación del mismo son: compromiso máximo de canal, compromiso

máximo medular<sup>9</sup>. (Imagen X). Estas mediciones se realizan en cortes sagitales en secuencias T1 y T2<sup>122</sup>.

- Estenosis de canal previa al traumatismo. Este valor es difícil de cuantificar, puesto que es complicado discernir entre la estenosis debida al traumatismo o la fractura cervical, de la estenosis degenerativa. Una vez más, suele utilizarse la secuencia T2 en cortes sagitales para su cuantificación. El método de Torg-Pavlov es el método propuesto para cuantificar el valor de la estenosis<sup>123</sup>.
- Hematoma extramedular. Se trata de una lesión extraxial, que en fase aguda suele ser hipointenso en T1 y en T2, aunque esta intensidad puede variar en función de la fase de evolución del hematoma. Es un hallazgo común en los casos de pacientes con importante lesión medular, pero con escasos hallazgos en la TC (SCIWOCTET)



**Figura 1.7.** RM cervical cortes sagitales T2 (A) y correlaciones gráficas de los hallazgos (B, C y D). Fractura en lágrima C5 con disrupción del LCA (flecha blanca). Existe desplazamiento del muro posterior de C5 que produce compresión medular, con un aumento de señal en secuencia T2, que corresponde con el edema medular (\*). Asociado al edema, se aprecia una hipointensidad submilimétrica (cabeza de flecha) que corresponde con el hematoma intramedular. En las secuencias gráficas C y D se explica cómo se realiza el cálculo del compromiso máximo de canal  $[(1 - Mi/(M1 + M2)/2) \times 100]$  y el compromiso máximo medular  $[(1 - Ci/(C1 + C2)/2) \times 100]$ .



**Figura 1.8.** La TC es altamente sensible para detectar anomalías en las estructuras óseas (A), tales como la fractura cervical C5 con desplazamiento del muro posterior. La rotura del LCA puede observarse en T2 (B), aunque si bien, tal como se observa en C, la nitidez y sensibilidad es mayor en secuencias STIR. (D) La secuencia Eco de gradiente es muy útil en los casos de hematoma intramedular, puesto que identifica la señal emitida por la hemosiderina, presentándose como una señal hipointensa.

En la tabla 1.7 se muestran las secuencias más utilizadas en la actualidad para el estudio de la lesión medular cervical traumática. Habitualmente, para la realización de estudios encaminados a determinar el valor pronóstico de la RM, son las secuencias T2 y derivadas (STIR, eco de gradiente) en cortes sagitales las más utilizadas para cuantificar la extensión de la lesión medula y la lesión discal y de estructuras ligamentosas.

Secuencia en la RM	Información
T1	Anatomía, hipointensidad en el edema asociado a fractura, iso-intenso o hiperintenso en el hematoma epidural
T2	LMA (la hiperintensidad de señal representa el edema intramedular), hematoma intramedular (habitualmente como una hipointensidad en el espesor de un aumento de densidad –hematoma intramedular asociado con edema/LMA-. Lesión ligamentosa * El edema de médula ósea puede confundirse con el aumento de señal producido por la grasa

Densidad protónica	Mayor sensibilidad y especificidad para detectar lesión ligamentosa
STIR (Supression T-inversion Recovery)	Mayor sensibilidad y especificidad para detectar lesión ligamentosa
T2-Echo de gradiente	Mayor sensibilidad para detectar hematoma intramedular y colecciones epidurales (especificidad es cuestionable)

**Tabla 1.7.** Secuencias estándar (en la actualidad) para el estudio del traumatismo cervical y tipo de información. Adaptado de Update on new imaging techniques for Trauma, Sha and Flanders 2017<sup>113</sup>.

Las secuencias con un T largo (T2 y STIR) permiten identificar fácilmente las lesiones intraxiales, tales como hematoma intramedular y edema. Las secuencias de supresión grasa (FSE) están incluidas en los protocolos de trauma cervical de algunos centros y son especialmente útiles para definir mejor el edema óseo, y diferenciarlo así, de la grasa, la cual está presente en la médula ósea<sup>113</sup>. Aunque las secuencias T2 permiten identificación, en fase aguda, del hematoma intramedular, las secuencias T2-Echo de gradiente permiten una mejor visualización de la extensión del hematoma, dada su mayor sensibilidad, aunque a expensas de más artefactos por estructuras vecinas y mínimos movimientos, lo cual no la hace muy útil en pacientes con mala tolerancia a la RM<sup>124</sup>. Las secuencias STIR tienen una elevada sensibilidad para detectar lesión en tejidos blandos, tales como ligamentos, aunque la especificidad es limitada si los resultados no se comparan con los hallazgos de las secuencias T1 y de supresión grasa (FSE)<sup>113</sup>.

Recientemente se han desarrollado nuevas técnicas de RM que a día de hoy siguen en fase de experimentación y su aplicación clínica es todavía limitada para la lesión medular traumática. Entre ellas la espectroscopia, el tensor de difusión y la RM funcional son las más prometedoras para un futuro que permita identificar lesiones en fases más precoces y tengan aplicabilidad en el desarrollo de nuevas terapias con células madre y nuevos fármacos.

## **6. FACTORES PRONÓSTICOS**

Desde un punto de vista práctico, el valor de la predicción en la LMA traumática radica en proveer a los profesionales médicos de la información necesaria y adecuada para responder las inquietudes y las expectativas de pacientes y sus familiares, así como diseñar programas de rehabilitación específicos acordes con el pronóstico esperado, y justificar decisiones terapéuticas que vayan encaminadas a mejorar las expectativas funcionales y/o la calidad de vida de nuestros enfermos.

En la literatura reciente existe una cierta inclinación a incorporar una evaluación más global de lo que consideramos como pronóstico o resultado, incluyendo variables relacionadas con factores psicológicos y socioeconómicos<sup>19</sup>. No obstante, el estándar más comúnmente aceptado como variable resultado para definir pronóstico es, la mejoría clínica o neurológica a lo largo del tiempo de observación de los pacientes que sobreviven<sup>9, 125-128</sup>. Del mismo modo, la asociación de la LMA traumática con otras lesiones concomitantes que presentan una mortalidad elevada, puede afectar los resultados de aquellos estudios que utilizan la tasa de mortalidad específica como variable final de evaluación pronóstica, dando lugar así, a resultados espurios y potenciales factores de confusión<sup>129</sup>.

Ante este contexto, debemos ser críticos, pues, cuando nos enfrentemos a la revisión de la literatura actual acerca del pronóstico de los pacientes con LMA traumática. Es quizá por ello, que la Campaña Internacional para la Cura de la Lesión Medular recomienda el uso de escalas funcionales y neurológicas, sobre estudios de supervivencia, para los estudios encaminados a determinar los factores pronósticos asociados a la lesión medular<sup>130</sup>. La variable resultado (dependiente) en la mayoría de ensayos clínicos destinados a evaluar la influencia de una medida terapéutica en la LMA ha estado basada en la recuperación neurológica, tanto motora como sensitiva<sup>67, 131, 132</sup>. En una extensa revisión

sistemática el grupo de trabajo del Dr Fehlings<sup>133</sup>, la escala ASIA ha demostrado una adecuada validez y fiabilidad para el estudio de variables pronósticas, con buena capacidad discriminatoria para evaluar el grado de recuperación neurológica.

La mayoría de estudios pronósticos en la LMA cervical traumática son de tipo retrospectivo<sup>8, 134</sup> muchos de ellos carecen de un análisis estadístico extenso. Podemos clasificarlos entre aquellos destinados al estudio de los predictores clínicos, y más recientemente, con el advenimiento de nuevas técnicas de RM, aquellos que estudian diversos predictores radiológicos, aunque si bien, escasean aquellos trabajos que incluyan ambos tipos de variables<sup>9</sup>. El rol predictivo del examen clínico parece prevalecer sobre los hallazgos radiológicos en resonancia, pero aquéllos tienen otras limitaciones<sup>8</sup>. Especialmente cuando el examen se realiza en fase aguda, la utilización de la exploración neurológica para la determinación del pronóstico funcional ha demostrado ser particularmente problemática, dada la existencia de potenciales factores de confusión. La presencia de TCE concomitante, el daño extramedular en el paciente politraumatizado, la sedación y el dolor distractor son algunas de las variables que pueden sobrevalorar la capacidad predictora de una exploración neurológica que no exprese el verdadero daño medular existente. Del mismo modo, la exploración clínica está sujeta a cierta subjetividad por parte del examinador. Cadotte<sup>8</sup> expone que la RM presenta una mayor sensibilidad y especificidad en las primeras 72 horas, así como que la exploración de la función neurológica es menos fiable en el mismo intervalo de tiempo, especialmente en pacientes de mayor gravedad y trauma asociado.

La RM ha mejorado nuestro conocimiento sobre la LMA. Hasta ahora, la predicción se basaba exclusivamente en análisis subjetivos procedentes de la exploración, los cuales presentan déficits que impiden que sean plenamente fiables, especialmente en ciertos grupos de pacientes. El uso de la RM debería, al menos teóricamente, vencer las limitaciones identificadas con el uso de la exploración

neurológica. Por ejemplo, siempre que el enfermo se encuentre en el scanner, la capacidad predictiva de la RM es independiente de la colaboración del enfermo, de si se encuentra despierto o presenta lesiones asociadas, disminuyendo, por tanto, los factores de confusión asociados al traumatismo y al estado de gravedad. No obstante, posee otros inconvenientes que determinan que no sea tan buena herramienta pronóstica. A saber:

1. El carácter estático de la RM, siendo la LMA un proceso dinámico tanto en las manifestaciones clínicas como en los cambios estructurales, y desarrollo de secuencias capaces de detectar mínimos cambios estructurales, pueden sobrestimar su verdadero valor predictivo en esta patología. Leypold<sup>114</sup> ya describió el incremento progresivo de aproximadamente un centímetro al día de los cambios de señal (hiperintensidad) intramedulares.
2. La RM posee una elevada sensibilidad para cierto tipo de lesiones, pero que paga a costa de la disminución de especificidad. Por ejemplo, es paradójico el hecho de que exista una gran variabilidad en detectar la presencia de hemorragia intramedular como un factor de mal pronóstico. A pesar de que en los estudios más tempranos<sup>116, 117, 119, 124, 135-137</sup> resulta un inequívoco dato que sugiere una mala recuperación, estudios más recientes dudan de su valor como tal. El desarrollo de nuevas técnicas de RM, tales como el T2 ECO de gradiente y la RM con realce protónico, permite que se puedan detectar lesiones minúsculas que antaño hubiesen pasado desapercibidas. Debe ser el reto en los nuevos tiempos, determinar cuantitativamente, la cantidad de lesión necesaria para producir una lesión no recuperable. Del mismo modo, La RM ha demostrado poseer una alta sensibilidad para la detección de lesiones ligamentosas, aunque presenta una especificidad moderada al correlacionarla con los hallazgos intraoperatorios<sup>138, 139</sup>.



3. Capacidad diagnóstica ¿limitada? de la RM. Tal como queda comentado anteriormente, la TC sigue siendo la prueba de elección para la detección de fracturas, luxaciones y alteraciones a nivel óseo. El número porcentual de estudios diagnósticos positivos con la TC sigue siendo superior al de los que se hallan por RM. Por ello, desde el punto de vista diagnóstico, la RM quedaría reservada para los casos más dudosos, en aquellos pacientes donde la clínica no se corresponda con los hallazgos óseos, y en los que el nivel de conciencia del paciente no permita una correcta evaluación clínica. No obstante, el creciente desarrollo de la RM ha permitido un aumento de la sensibilidad para lesiones óseas<sup>140, 141</sup>. En cualquier caso, aquellos estudios de tipo pronóstico basados en hallazgos radiológicos deberán hacer un esfuerzo por incluir variables dependientes de la RM, pero también de la TC.

### *6.1 Factores pronósticos Clínicos*

Los estudios pronósticos que evaluaban la influencia de diversas variables clínicas y demográficas como variables predictoras predominaron inicialmente en los años 80 y 90<sup>17, 142-144</sup>. La función neurológica inicial está considerada como el factor pronóstico más relevante en la LMA traumática<sup>134</sup>. Menos del 15 % de pacientes con una lesión medular completa experimentarán alguna mejoría, lo suficiente como para alcanzar una función medular incompleta, mientras que sólo el 2 % llegarán a mejorar hasta una puntuación AIS D en la escala ASIA<sup>144, 145</sup>. Estos porcentajes de mejoría son mayores en los pacientes con lesión medular incompleta.

El nivel de la lesión neurológica es un factor importante en la evolución funcional y en la supervivencia. Si bien el nivel de la lesión tiene escaso o nulo impacto en la capacidad de recuperación neurológica, los pacientes con una lesión cervical alta (C1-C4) presentan en el seguimiento peores puntuaciones en diversas escalas funcionales y de independencia (comida, aseo, vestirse, transferencia cama-silla de ruedas, etc...) y mayores tasas de mortalidad que los pacientes con lesión cervical baja (C5-C8)<sup>146</sup>.

Los efectos de la edad en la recuperación funcional en los casos de LMA cervical traumática es algo más controvertido. Si bien Cifu y colaboradores<sup>147</sup> encontraron que los pacientes menores de 65 años tenían mayores ganancias de la función motora, Furlan y Fehlings subrayaron que la edad era una variable independiente de la recuperación motora en la cohorte de pacientes incluidos en el estudio NASCIS III<sup>148</sup>. Otros autores han encontrado ganancias en todos los parámetros clínicos considerados tales como sensibilidad, fuerza y micción, aunque la mayoría de ellos tienen una validez más limitada o se basan en análisis de cohortes retrospectivas<sup>149</sup>. Wilson y cols<sup>134</sup> afirma que la influencia de la edad es sólo evidente en ciertos casos, como en aquellos pacientes con lesiones incompletas ASIA B y C, pero no en aquellos con lesiones completas o con una puntuación en la escala de ASIA D. La tasa de mortalidad, en cambio, sí muestra una clara asociación con la edad del paciente, siendo mayor en los pacientes de mayor edad<sup>150, 151</sup>.

El sexo es otra variable cuya influencia en el pronóstico es cuestionable. Sipski<sup>125</sup> encontró mayores rangos de mejoría en la puntuación ASIA en mujeres, aunque otras series menos extensas no han sido capaces de corroborar dicho hallazgo. Por otro lado, en el mismo estudio anterior<sup>125</sup>, los pacientes varones con una lesión medular completa mostraron mejores puntuaciones en la escala ASIA que las mujeres. No existe una evidencia fuerte que permita hacer conclusiones específicas acerca de la influencia del sexo en el pronóstico de la lesión medular, y se ha propuesto que en ausencia de una

explicación biológica plausible, los resultados positivos sean debidos a factores de confusión no ajustados en el análisis<sup>134</sup>.

## 6.2 Factores pronósticos Radiológicos

Previamente al desarrollo de la RM, algunos trabajos han tratado de buscar tímidamente y de una forma indirecta, la asociación de cierto tipo de fracturas con la clínica neurológica, aunque la mayoría de las veces tal asociación era pobre y carecía de consistencia cuando los resultados se extrapolaban a otras series. Allen y colaboradores establecen una clasificación separando las fracturas en grupos según el mecanismo lesional más probable, haciendo una inferencia indirecta a partir de los hallazgos radiográficos. Dentro de cada grupo, el trabajo original de Allen mostraba una gradación de severidad dentro del mismo mecanismo lesional, el cual correlacionaba de forma directa con la gravedad de la lesión medular. No obstante, no era posible relacionar los diferentes grupos de mecanismos lesionales entre sí, los resultados eran poco reproducibles y poseía una alta variabilidad interobservador y grado de discordancia<sup>3</sup>. Desde entonces, la aplicación de la TC como herramienta pronóstica ha caído en desuso, y aunque algunos autores la han incluido en análisis de variables radiológicas derivadas tanto de la RM como de la TC, los datos no han arrojado ningún dato concluyente sobre variables radiológicas pronósticas provenientes de la técnica tomográfica<sup>152</sup>. En el sistema de clasificación SLIC, Vaccaro y colaboradores<sup>10</sup> ponderan de un modo significativo, las lesiones por rotación y la luxación facetaria, y en un menor grado las lesiones por extensión o compresión. A pesar de ello, este sistema fue elaborado para estimar la indicación quirúrgica, y no para fines pronósticos, por lo que las estimaciones predictivas a partir de esta clasificación deben interpretarse con cautela. Song<sup>153</sup> ha añadido modificaciones a las clasificaciones de Allen<sup>3</sup> y Vaccaro (SLIC)<sup>10</sup> con el fin de dar cierta utilidad pronóstica a estas escalas, y aunque han demostrado, ciertamente, asociación con la función neurológica inicial, su validez tanto interna como externa, desde el punto de vista pronóstico, no está

demostrada y en ningún caso especifica aquellas variables radiológicas que tienen mayor peso para predecir la evolución neurológica final.

En los últimos tiempos, especialmente a partir de la segunda mitad de los años 90, han surgido ciertos trabajos, basados en los hallazgos de la Resonancia Magnética, encaminados a determinar los factores pronósticos más influyentes en el traumatismo cervical<sup>9, 115-117, 135, 136, 152, 154-158</sup>, si bien sólo unos pocos de ellos realizan un análisis estadístico fiable sobre una población fijada o una serie consecutiva de casos<sup>8</sup>. El edema intramedular, la presencia de hemorragia intramedular y la compresión medular son los 3 factores pronósticos más consistentes provenientes de la radiología y la secuencia T2 en cortes sagitales la que ofrece más información pronóstica al respecto<sup>121</sup>. Estos hallazgos ponen de manifiesto que la RM es superior a la TC en su capacidad pronóstica. El desarrollo de nuevas secuencias más sensibles y específicas y de la RM funcional permitirá que se pueda seguir avanzando en el conocimiento y el pronóstico de esta patología.

## **7. JUSTIFICACIÓN DE LA LÍNEA DE TRABAJO**

A pesar de la importancia clínica, social y económica de la lesión medular traumática, existen problemas a la hora de determinar el pronóstico de los pacientes que han sufrido esta lesión. El desarrollo de la RM como herramienta pronóstica es todavía limitado y existen áreas en las que su papel ha sido poco estudiado, y que justifican este trabajo, como son: primero, la influencia de los tejidos blandos y su lesión detectada en la RM en la LMA traumática; segundo, el papel de la RM en el establecimiento del pronóstico en los pacientes adultos que han sufrido SCIWOCTET; y tercero, el peso relativo de la RM en el establecimiento del pronóstico en el traumatismo cervical.

### **7.1 Influencia de tejidos blandos LMA traumática**

Desde el desarrollo de la RM han surgido numerosos estudios encaminados a determinar el valor pronóstico de dicha técnica. Entre los hallazgos radiológicos clásicos asociados al pronóstico están la extensión del edema o la lesión, la presencia de hematoma intramedular, y la compresión medular<sup>9, 116, 117, 154, 156, 157</sup>.

Indudablemente, la columna cervical tiene unas estructuras de soporte cuya lesión puede dar lugar a una inestabilidad oculta que determine un daño medular y por consiguiente una peor evolución clínica. El número de estudios destinados a estudiar el papel de los ligamentos y estructuras blandas en el desarrollo, progresión y evolución de la lesión medular es muy limitado. El desarrollo reciente de nuevas secuencias de RM, como el STIR y el ECO de gradiente, nos aporta una visión más amplia de la función ligamentaria<sup>138</sup>, que podría ser utilizada para realizar estimaciones pronósticas que nos permita justificar ciertos tratamientos.

La mayoría de estudios recomiendan realizar la RM en las primeras 24-72 horas<sup>117</sup> dada su naturaleza dinámica<sup>114, 159</sup>. Sería interesante saber si la lesión de estas estructuras de tejidos blandos tiene alguna influencia sobre la evolución de los lesionados medulares, al tratarse de lesiones más estables y que cambian menos a lo largo del tiempo, al contrario de lo que ocurre con los hallazgos radiológicos que hemos denominado intraxiales (hematoma intramedular, edema y lesión intramedular). De este modo, se cubriría, al menos de manera parcial, las limitaciones de la RM tardía, y justificaría su uso y valor pronóstico en los pacientes que por inestabilidad no pudieron ser trasladados a la RM en la fase aguda.

## 7.2 SCIWOCTET en adultos

SCIWOCTET es una entidad que afecta más frecuentemente a pacientes en edad pediátrica. La existencia en pacientes adultos es rara, y la mayoría de la evidencia está basada en casos aislados y algunos pocos estudios de cohortes con pobre o nulo análisis estadístico. Clásicamente se ha pensado que los pacientes que padecen esta entidad tienen una evolución favorable<sup>49</sup>, pero existen pocos trabajos destinados a determinar el verdadero pronóstico.

En el SCIWOCTET, donde tanto la TC como la radiología simple no dan muestras evidentes de traumatismo, la RM cobra especial relevancia. El estudio de qué hallazgos radiológicos son verdaderos factores pronósticos puede ayudar a la comunidad científica a orientar el tratamiento al subgrupo de pacientes con LMA sin hallazgos de fractura. Del mismo modo, creemos que la inestabilidad y daño ligamentario pueden tener especial relevancia en la progresión de esta patología, lo cual merece un estudio diferenciado del resto de la lesión medular cervical aguda traumática.

### *7.3 Peso pronóstico de la RM en el traumatismo medular cervical*

Tanto la RM como la clínica tienen limitaciones propias del método. Los pocos estudios realizados que incluyen ambos factores (clínicos y radiológicos) denotan un bajo o nulo peso específico de las variables radiológicas con respecto a la función neurológica al ingreso<sup>9, 155, 157, 160</sup>. Sin embargo, el valor pronóstico de la RM en las primeras 72 horas tiene un peso relativo mayor, dada la menor fiabilidad de la exploración, especialmente en pacientes más graves<sup>8</sup>. En cualquier caso, el modelo ideal, y que convendría desarrollar, sería aquél que integrase ambos elementos (clínicos y radiológicos), de modo que permitiera pronosticar con la máxima certeza posible la evolución clínica de la LMA cervical traumática, incluso en los casos en los que la exploración física neurológica sea menos fiable (<72 horas).

## **II. HIPÓTESIS Y OBJETIVOS**





## **HIPÓTESIS Y OBJETIVOS**

Se plantean 3 hipótesis de trabajo.

- 1) La RM cervical en la fase aguda es una herramienta capaz de mejorar la capacidad predictiva de modelos clínicos y radiológicos utilizados hasta la fecha para establecer la evolución neurológica a largo plazo de los pacientes que han sufrido trauma cervical.
- 2) En la fase precoz del traumatismo es posible identificar en la RM cervical una serie de variables relacionadas con una mala evolución neurológica final.
- 3) El SCIWOCTET es una entidad patológica dentro de la LMA traumática no siempre asociada a un pronóstico favorable. La presencia de cambios de señal y lesiones ligamentosas en la RM cervical están relacionadas con la ausencia de recuperación neurológica en estos pacientes.

Objetivo general:

1) Determinar el papel pronóstico de la RM cervical precoz en los pacientes con lesión medular aguda traumática

Objetivos específicos:

2) Examinar la relación entre los cambios producidos en la extensión de la lesión intramedular y la lesión de los diferentes tejidos blandos que dan estructura a la columna cervical.

3) Evaluar la capacidad de recuperación de la función neurológica en los pacientes con LMA cervical traumática, en función de los hallazgos radiológicos que se presenten.

4) Desarrollar un modelo que explique, en su mayor medida, la capacidad pronóstica de las pruebas radiológicas y la clínica inicial.

5) Determinar cuáles son los factores pronósticos radiológicos más importantes en la evolución neurológica de los pacientes adultos que sufren SCIWOCTET.

# **III. MATERIAL Y MÉTODOS**



## MATERIAL Y MÉTODOS

### 1. POBLACIÓN DE ESTUDIO

Se realizó un estudio observacional analítico. A partir de una serie retrospectiva de pacientes con LMA cervical secundaria a traumatismo cerrado y con un estudio de RM precoz se diseñaron 3 grupos o series de casos (I, II y III).

#### *Criterios de inclusión*

De forma general, se incluyeron todos los pacientes adultos (>16 años) ingresados en el Hospital 12 de Octubre y/o en el Hospital Puerta del Mar con el diagnóstico de traumatismo cervical cerrado y presencia de LMA cervical y que poseían estudio de RM completo en las primeras 96 horas tras el traumatismo y con un seguimiento superior a 12 meses, desde 1991 hasta el año 2014 (Figura 3.1). Existieron pequeñas variaciones entre los criterios de inclusión en cada uno de los tres grupos, que de manera específica se concretan a continuación:

- A. Grupo I. Pacientes admitidos en el Hospital 12 de Octubre entre los años 1990 y 2011 con el diagnóstico LMA cervical de origen traumático y estudios de imagen completos, incluida RM precoz, en las primeras 96 horas después del trauma. (n=108)
- B. Grupo II. Pacientes con LMA cervical traumática sin evidencia tomográfica de lesión (SCIWOCTET) con estudios de imagen (TC y Rx simple) y RM completa precoz (<72

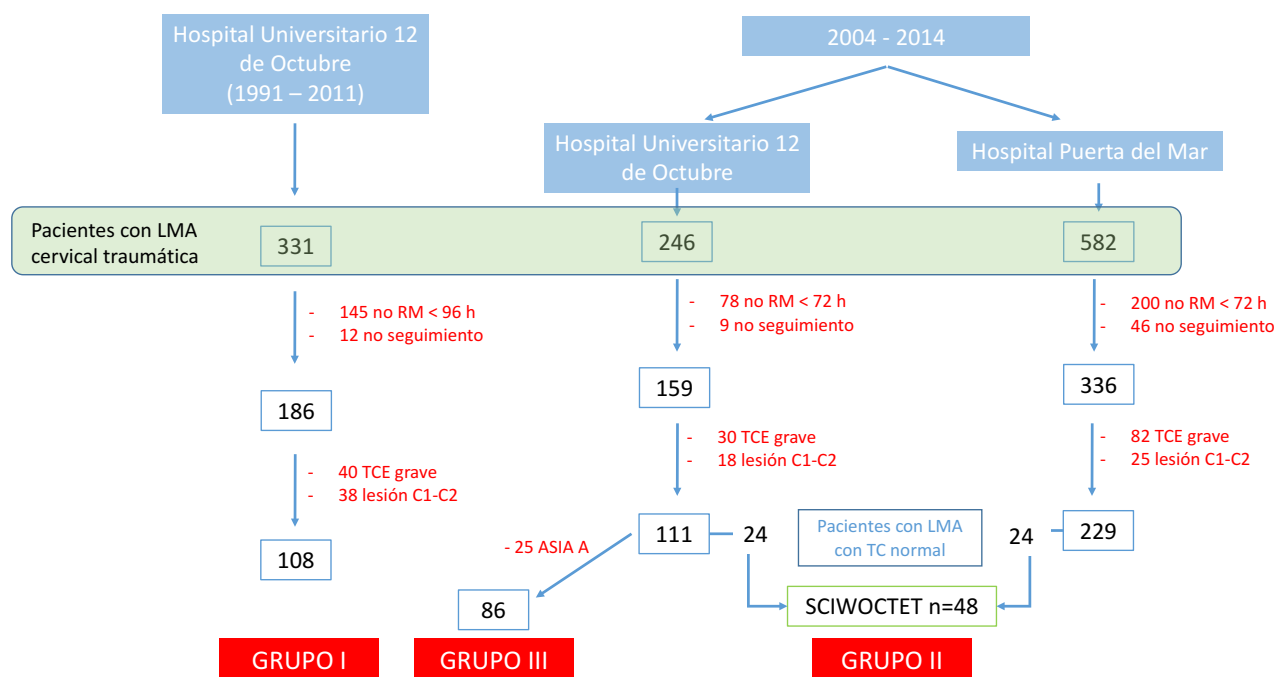
horas) que fueron admitidos en 2 centros (Hospital 12 de Octubre y Hospital Puerta del Mar) entre los años 2004 y 2013. (n=48)

C. Grupo III. Pacientes con LMA incompleta cervical traumática con estudio de imagen (TC y radiología simple) y RM precoz (<72 horas) que fueron admitidos en el Hospital 12 de Octubre entre los años 2004 y 2014. (n=86)

### **Criterios de exclusión**

Se excluyeron del análisis a los pacientes con una exploración neurológica normal o aquellos en los que la exploración sugería compromiso radicular sin evidencia de lesión medular aguda. Del mismo modo, quedaron excluidos los pacientes con traumatismo craneoencefálico severo, aquellos con un seguimiento inferior a un año y aquellos con fracturas-luxaciones y/o lesiones cervicales altas (C1-C2). Se excluyeron del estudio aquellos individuos con una duración de los síntomas (motores o sensitivos) inferiores a 48 horas.

De manera adicional, para el análisis estadístico de los pacientes del grupo II sólo se incluyeron los pacientes con el diagnóstico de SCIWOCTET, por lo que quedaron excluidos todos los pacientes con lesión ósea identificada en la TC. En el tercer trabajo de esta tesis (grupo III) se excluyeron los pacientes con lesión medular completa (ASIA A).



**Figura 3.1.** Diagrama de flujo que indica cómo fueron seleccionados los pacientes en las diferentes cohortes que se incluyen en cada uno de los tres estudios incluidos en esta tesis. Grupo I: Pacientes procedentes del Hospital 12 de Octubre (1991-2011) con LMA completa e incompleta y RM precoz <96 h. Grupo II: Pacientes procedentes de los dos centros con SCIWOCTET y RM primeras 72 h (2004-2014). Grupo III: Pacientes procedentes del Hospital 12 de Octubre (2004-2014) con LMA incompleta y RM <72 h.



## **2. RECOGIDA DE DATOS CLÍNICOS Y DEMOGRÁFICOS Y MANEJO**

El diagnóstico de LMA se realizó clínicamente a partir de los hallazgos de la primera exploración física tras el traumatismo. Se recogieron variables demográficas, incluyendo el mecanismo lesional, la edad, el sexo y el examen neurológico del paciente (inicial y al seguimiento).

El examen neurológico fue llevado a cabo por examinadores entrenados para la evaluación de la escala ASIA<sup>50</sup>. Dicho examen se realizó en el momento del ingreso, cada 48-72 horas, de forma periódica durante el ingreso, para monitorizar la evolución clínica del paciente y al seguimiento en consultas tras haber transcurrido un año tras el accidente. Para el análisis se recogieron los resultados del examen clínico al ingreso y al año de seguimiento. En el caso de que el paciente se encontrase bajo los efectos de la sedación en el momento del ingreso, se tuvo en cuenta la primera exploración con el paciente consciente.

La existencia de un síndrome centromedular fue diagnosticada clínicamente cuando existiera una pérdida considerable de fuerza en las extremidades superiores superior al déficit en extremidades inferiores y una variable alteración de la función sensitiva y esfinteriana<sup>34</sup>.

La indicación de tratamiento quirúrgico o conservador, así como el procedimiento quirúrgico a realizar, fue determinada por el neurocirujano responsable del caso, en función de criterios biomecánicos de inestabilidad<sup>5</sup>, la presencia de lesión neurológica incompleta, los datos de comorbilidad y el grado y la localización de la compresión medular. Ante casos de progresión de

clínica neurológica con datos de compresión de la médula espinal, el protocolo de actuación compartido por los dos centros incluidos consiste en reducir la fractura-luxación y en el caso de que persista el déficit, proceder con un procedimiento descompresivo (anterior o posterior) de forma urgente. Tras valoración del caso, las alternativas terapéuticas eran explicadas y discutidas con el paciente y su familia durante el proceso del consentimiento informado. En los casos en los que el paciente y/o su familia rechazaron el tratamiento quirúrgico, cuando éste estaba indicado, se llevó a cabo un tratamiento conservador. El protocolo de tratamiento no incluía en ningún caso la administración de corticoesteroides. No obstante, incluso tras revisar retrospectivamente las historias clínicas, no podemos asegurar que alguno de los pacientes recibiera corticoterapia en algún momento a lo largo de su ingreso hospitalario, puesto que, si bien no era la práctica habitual en estos servicios, de manera excepcional podría indicarse dependiendo de características concretas del caso.

### **3. ESTUDIO RADIOLÓGICO**

El estudio radiológico de la LMA cervical traumática incluyó la realización de TC helicoidal y RM en todos los pacientes.

#### **3.1. TÉCNICA Y VARIABLES RADIOLÓGICAS**

##### **a. Tomografía Computarizada.**

La tomografía fue realizada en un aparato de TC helicoidal con un grosor del corte de 1,5 milímetros. La integridad ósea y el patrón de fractura se analizó mediante el estudio de los cortes axiales y las reconstrucciones sagitales de la TC helicoidal.

Respecto al patrón de fractura, se recogieron las siguientes variables: localización de la fractura (cuerpo vertebral, pedículo, lámina y/o apófisis espinosa), presencia de traslación del cuerpo vertebral, presencia de luxación facetaria (ya sea uni o bilateral) y evidencia de cifosis cervical. Se consideró la fractura del pedículo, lámina, cuerpo vertebral o apófisis espinosa cuando existía una discontinuidad en la cortical del hueso para cada una de estas estructuras. La traslación del cuerpo vertebral se midió como la distancia transversa entre las líneas que se dibujan por el borde posterior de dos cuerpos vertebrales adyacentes. Cuando la distancia era superior a 2 milímetros, el hallazgo fue considerado como positivo<sup>161, 162</sup>. Del mismo modo, la dislocación facetaria se consideró como el desplazamiento anterior o rotacional, asociado a la falta de contacto, uni o bilateral, entre las superficies articulares de

las apófisis inter-articulares<sup>162</sup>. Se consideró como cifosis cervical cuando existía una angulación mayor a 30°, según el ángulo de Cobb<sup>163, 164</sup>.

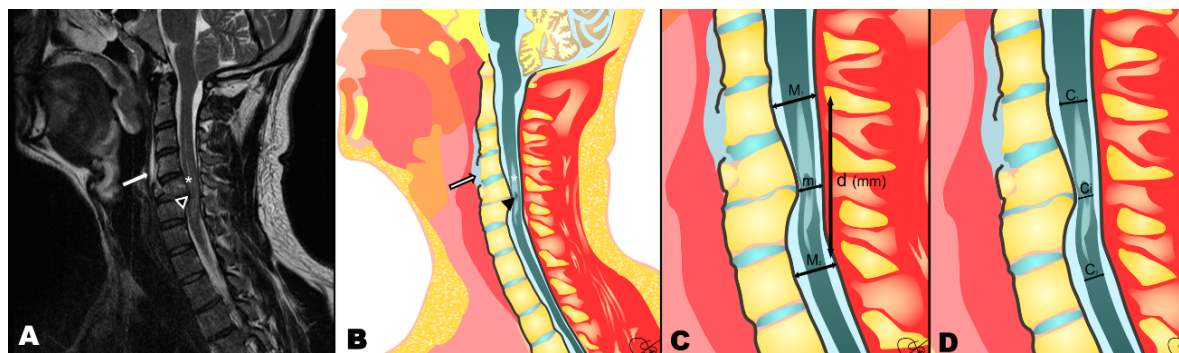
## **b. Resonancia Magnética**

La RM cervical se realizó en todos los pacientes con un imán de 1,5 Teslas y un grosor del corte de 3 milímetros, incluyendo, al menos desde la unión cráneo-cervical hasta la primera vértebra dorsal. El protocolo de estudio incluía la realización, en plano coronal y sagital, de secuencias T1 y T2, así como de secuencias STIR (short T1 Inversion Recovery) y Eco de Gradiente (GRE) cuando éstas estaban disponibles. Los pacientes con una realización de la RM previa a 2004 no incluía la realización de secuencias STIR y GRE, las cuales se empezaron a incluir de manera sistemática en los protocolos de estudio del traumatismo cervical a partir de entonces.

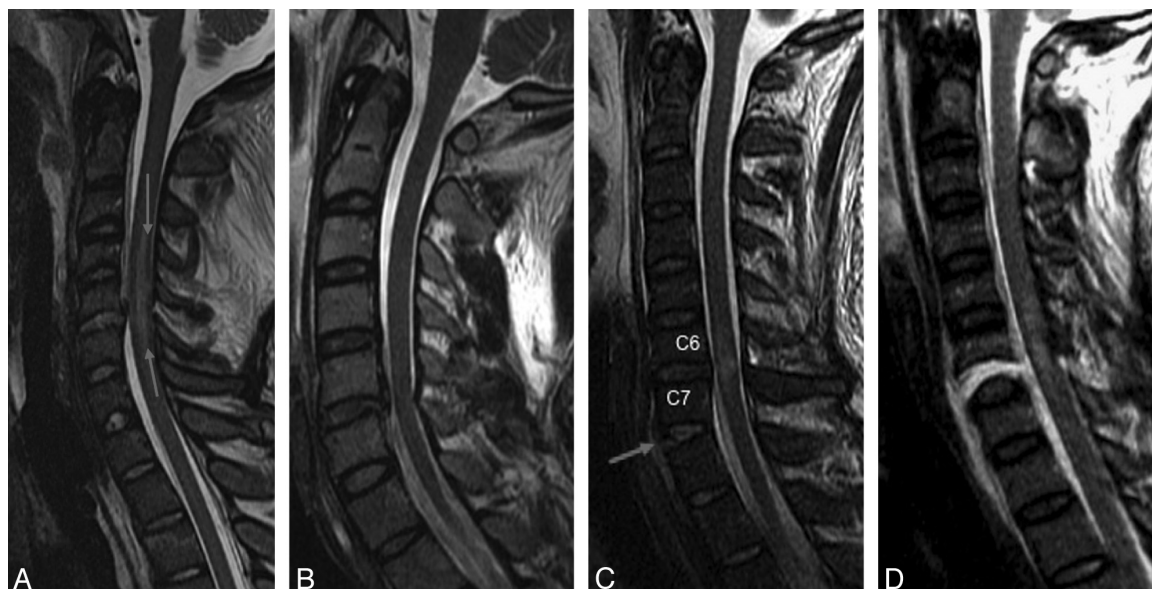
Se recogieron las variables procedentes de la RM cervical (Figuras 3.2 y 3.3). Para la medición cuantitativa de la longitud del edema se utilizó el método descrito por Flanders<sup>157</sup> y Miyajiri<sup>9</sup>: la longitud del edema intramedular (o lesión intramedular) se cuantificó en el plano medio sagital de las secuencias T2, como la distancia en milímetros entre el punto más caudal y el punto más cefálico entre los cuales se extendía el edema (o lesión). Se consideró el edema intramedular (o lesión) como el aumento de señal en las secuencias T2, mientras que el hematoma intramedular quedó considerado como una pequeña área focal hipointensa dentro del área correspondiente al edema<sup>9</sup>. En los casos en los que la secuencia ECO de gradiente estaba disponible, los hallazgos correspondientes al hematoma intramedular se corroboraron con esta técnica, mostrando una disminución de señal, debido al depósito de hemosiderina<sup>121</sup>. La presencia de hematoma extramedular (epidural o subdural) también fue analizada. Los planos sagitales de las secuencias T1 y T2, en cada paciente, fueron utilizadas para cuantificar el compromiso máximo de canal (CMC) y el compromiso máximo medular (CMM), del

mismo modo que describió Fehlings<sup>122</sup>. La integridad de los tejidos blandos se estudió mediante el uso de RM. Los tejidos blandos que se analizaron fueron: ligamento común anterior (LCA), ligamento común posterior (LCP), ligamentum flavum (LF) y disco intervertebral. La lesión ligamentosa y del disco quedó determinada tras el estudio de las secuencias T2 y STIR en planos sagital y axial. La lesión de cualquier tejido blando fue considerada cuando existía una clara señal de discontinuidad de la estructura correspondiente a dicho tejido en las secuencias analizadas (Figura 3.3). La estenosis de canal cervical quedó considerada cuando el valor del ratio de Torg-Pavlov era inferior a 0.7<sup>123</sup>.

El nivel de la lesión quedó definido como el punto medio y equidistante de los dos extremos del edema intramedular, alineado con la vértebra correspondiente. En el caso de que no existiera edema o lesión intramedular, el nivel de la lesión fue considerado como aquél donde el daño de estructuras óseas y ligamentosas fuese mayor.



**Figura 3.2.** RM cervical cortes sagitales T2 (A) y correlaciones gráficas de los hallazgos (B,C y D). Fractura en lágrima C5 con disrupción del LCA (flecha blanca). Existe desplazamiento del muro posterior de C5 que produce compresión medular, con un aumento de señal en secuencia T2, que corresponde con el edema medular (\*). Asociado al edema, se aprecia una hipointensidad submilimétrica (cabeza de flecha) que corresponde con el hematoma intramedular. En las secuencias gráficas C y D se explica cómo se realiza el cálculo del compromiso máximo de canal [ $(1 - M_i/(M_1 + M_2)/2) \times 100$ ] y el compromiso máximo medular [ $(1 - C_i/(C_1 + C_2)/2) \times 100$ ].



**Figura 3.3.** RM cervical cortes sagitales T2. (A) Hernia discal traumática C5-C6, produce un aumento de señal intramedular (flechas), correspondientes a la lesión o edema medular. La longitud de la lesión se calcula midiendo la distancia en milímetros entre los extremos caudal y craneal de la misma. (B) Disrupción del ligamento común posterior a nivel de la sexta vértebra cervical, visto como una interrupción de la señal hipointensa que representa al LCP. (C) Lesión traumática producida por mecanismo de hiperextensión, y aumento de señal intramedular a nivel C6-C7, asociado con disrupción del ligamento común anterior (flecha blanca). (D) Disrupción ligamentaria completa, afectando a ligamento común anterior, ligamento común posterior y ligamento amarillo, y de disco intervertebral. A nivel medular existe un edema intramedular de 12 milímetros.

### **3.2. ANÁLISIS DE LAS IMÁGENES**

El estudio y análisis de las imágenes (de TC y RM) fue realizado simultáneamente y por el consenso entre un neurocirujano entrenado para el estudio de RM en el trauma cervical y una experta neurorradióloga con más de 15 años de experiencia.

Ambos observadores no dispusieron de ningún tipo de información clínica o demográfica de los individuos analizados.

### **3.3. PERÍODO TEMPORAL PARA LA REALIZACIÓN DE LA RM**

Todos los pacientes incluidos poseían una RM realizada en las primeras 96 horas tras el traumatismo. Para los estudios 2 y 3 se seleccionaron los pacientes cuya RM se había realizado en las primeras 72 horas.

#### **4. ANÁLISIS ESTADÍSTICO**

##### **4.1 INFLUENCIA DE LA LESIÓN DE TEJIDOS BLANDOS EN LA EXTENSIÓN DE LA LESIÓN (GRUPO I)**

La asociación entre la lesión de las distintas estructuras que componen los tejidos blandos con la extensión de la lesión se llevó a cabo mediante la realización de test univariantes. Para asegurar la independencia entre sí y de otras covariantes, se realizó posteriormente un análisis multivariante.

La lesión de las distintas estructuras (LCA, LCP, LF y disco intervertebral) fueron analizadas como variables dicotómicas (sano/lesionado), mientras que la extensión de la lesión (o edema) intramedular fue considerado como una variable cuantitativa continua. La edad, sexo y nivel de la lesión fueron introducidos como potenciales covariantes. Sexo (varón/mujer) y nivel de la lesión (superior a C5/inferior a C5) fueron consideradas como variables dicotómicas, mientras que la edad fue analizada como una variable cuantitativa continua. El test de U-Mann Whitney fue utilizado como método univariante para determinar la asociación entre las variables dicotómicas y la extensión de la lesión, mientras que el test rho de Spearman fue utilizado para determinar la asociación entre la edad y la extensión de la lesión. Las variables que mostraron asociación con una  $p < 0.1$  fueron introducidas en el análisis multivariante. Para el análisis multivariante se utilizó una regresión lineal.

Para demostrar la asociación entre el número de ligamentos afectados y la extensión de la lesión intramedular (o edema intramedular) se empleó el test de Kruskal Wallis.



En la primera cohorte, también se analizó la asociación entre la extensión de la lesión con la función neurológica al ingreso. Para ello, la función neurológica se dividió entre lesión medular completa (ASIA A) y lesión medular incompleta. La asociación con la extensión de la lesión se analizó utilizando la T de Student.

El límite para considerar la existencia de significación estadística fue el de p inferior a 0.05 y todos los test se calcularon utilizando el software SPSS v20 (IBM, Armonk, New York)

#### **4.2. VARIABLES PRONÓSTICAS EN EL PACIENTE CON SCIWOCTET (GRUPO II)**

Para simplificar el análisis de comparación entre pronóstico neurológico y hallazgos radiológicos, la variable dependiente, pronóstico neurológico favorable, fue considerada como la mejoría de al menos un grado en la escala ASIA entre la exploración al ingreso y la exploración al año de seguimiento.

La asociación entre las distintas variables con la variable dependiente se analizó mediante la realización de test univariados. Los parámetros cualitativos, incluyendo sexo, presencia de hematoma intramedular, hematoma extramedular, edema medular, swelling medular, lesión de LCA, lesión de LCP, lesión de LF, lesión de disco intervertebral fueron independientemente analizadas como variables dicotómicas (ej. Presente/ausente. Ej en el caso del sexo varón/mujer). Del mismo modo, el nivel de la lesión también fue considerado como una variable dicotómica (superior e inferior a C5). Las variables cuantitativas incluidas fueron la edad, CMM, CMC y extensión de la lesión (o edema) intramedular. Para demostrar la asociación entre las variables dicotómicas con la extensión de la lesión se utilizó el test exacto de Fisher y para comprobar la asociación entre variables cuantitativas y extensión de la lesión se empleó el test de U-Mann Whitney.

Para analizar si existía algún tipo de diferencia en el pronóstico neurológico entre los pacientes tratados quirúrgicamente y los que recibieron tratamiento conservador, se compararon ambos grupos con el test exacto de Fisher. En el análisis de la asociación entre la presencia o no de síndrome centromedular con el pronóstico neurológico se empleó el test exacto de Fisher

Para determinar la asociación o no entre la exploración neurológica inicial con la exploración neurológica al año de seguimiento, a cada grupo de la escala ASIA se le asoció un valor de la siguiente manera: ASIA A correspondería a un valor 0, ASIA B al valor 1, ASIA C a 2 y así, sucesivamente. La correlación de Spearman (rho de Spearman) fue utilizado para analizar si existía asociación entre estas dos variables (exploración neurológica inicial y exploración neurológica al seguimiento)

El límite para considerar la existencia de significación estadística fue el de p inferior a 0.05 y todos los test se calcularon utilizando el software SPSS v20 (IBM, Armonk, New York)

#### 4.3. VARIABLES PRONÓSTICAS EN EL PACIENTE CON LESION MEDULAR INCOMPLETA SECUNDARIA A TRAUMATISMO CERRADO (GRUPO III)

Al igual que en el trabajo anterior (apartado 4.2), como variable dependiente o resultado, se utilizó la presencia de pronóstico favorable, definido como la mejoría de al menos un grado en la escala ASIA entre la exploración neurológica al ingreso y la exploración neurológica al año de seguimiento.

Los datos se analizaron utilizando métodos de análisis univariable y multivariable. Como variables independientes, se incluyeron las siguientes variables dicotómicas:

- Variables demográficas: sexo (varón/mujer)

- Variables clínicas: tratamiento (quirúrgico y/o reducción cerrada Vs. conservador)
- Variables procedentes de la TC: fractura del cuerpo vertebral, fractura de la lámina, fractura de la apófisis articular, dislocación facetaria, cifosis vertebral.
- Variables procedentes de la RM: presencia de hematoma intramedular, presencia de hematoma extramedular, rotura de ligamento común anterior, lesión de LCA, lesión de LCP, lesión de LF, lesión de disco intervertebral, nivel de la lesión (por encima o por debajo de C6)

Para las variables cuantitativas continuas, tales como la edad o la longitud del edema, se trató de identificar el valor de corte que mejor se relacionase con peor pronóstico. Con este propósito, se dibujaron varios gráficos para determinar si existía un límite numérico a partir del cual la mayoría de pacientes presentaba un mal pronóstico neurológico. De este modo, se trazaron curvas ROC para la edad y la longitud del edema. Para cada punto de corte existe un valor de sensibilidad y especificidad. Estos valores pueden resumirse en las curvas ROC, en la cual, cada punto de la curva representa un valor de la variable estudiada (edad o longitud del edema). El punto óptimo de corte se calculó mediante la determinación del índice máximo de Youden, el cual corresponde al punto de la curva en el que la sensibilidad y especificidad son máximos. Este punto de la curva se corresponde, también, con el aquél que se encuentra a una distancia vertical mayor respecto a la línea de base. De acuerdo a este método, el punto de corte elegido para la longitud del edema fue 36 mm y para la edad los 65 años. Ambas variables, edad y longitud del edema, fueron analizadas como variables dicotómicas, de acuerdo al punto de corte escogido.

El test exacto de Fisher se utilizó para analizar la relación de cada una de las variables independientes con el pronóstico (variable dependiente).

Para determinar la asociación entre la exploración neurológica inicial con la exploración neurológica al año de seguimiento, a cada grado de la escala ASIA se le otorgó un valor cuantitativo creciente del siguiente modo: ASIA B = 0, ASIA C = 1, y así sucesivamente. El test de correlación de Rho de Spearman se utilizó para comparar los valores entre el ASIA al momento del ingreso con el ASIA al seguimiento.

En un segundo paso, con el propósito de evitar potenciales factores de confusión e interferencia entre las distintas variables, las variables que resultaron significativas ( $p < 0,05$ ) en el análisis univariable fueron incluidas en el estudio multivariable. Para el análisis multivariable se empleó la regresión logística multivariable. Se calcularon los valores ajustados para el Odds Ratio y su intervalo de confianza al 95%. La bondad del ajuste se determinó mediante el test de Hosmer y Lemeshow. Finalmente, se analizó la capacidad discriminativa del modelo multivariable, mediante el cálculo del área bajo la curva, tras trazar las curvas ROC para el modelo y se comparó con la capacidad discriminativa dada por la exploración neurológica inicial.

El límite para considerar la existencia de significación estadística fue el de  $p$  inferior a 0.05 y todos los test se calcularon utilizando el software SPSS v20 (IBM, Armonk, New York)



# **IV.RESULTADOS**



**GRUPO I:**

**INFLUENCIA DE LA LESIÓN DE**

**TEJIDOS BLANDOS EN LA**

**EXTENSIÓN DE LA LESIÓN**





# Spinal Cord Injury after Blunt Cervical Spine Trauma: Correlation of Soft-Tissue Damage and Extension of Lesion

R. Martínez-Pérez, I. Paredes, S. Cepeda, A. Ramos, A.M. Castaño-León, C. García-Fuentes, R.D. Lobato, P.A. Gómez, and A. Lagares

## ABSTRACT

**BACKGROUND AND PURPOSE:** In patients with spinal cord injury after blunt trauma, several studies have observed a correlation between neurologic impairment and radiologic findings. Few studies have been performed to correlate spinal cord injury with ligamentous injury. The purpose of this study was to retrospectively evaluate whether ligamentous injury or disk disruption after spinal cord injury correlates with lesion length.

**MATERIALS AND METHODS:** We retrospectively reviewed 108 patients diagnosed with traumatic spinal cord injury after cervical trauma between 1990–2011. Plain films, CT, and MR imaging were performed on patients and then reviewed for this study. MR imaging was performed within 96 hours after cervical trauma for all patients. Data regarding ligamentous injury, disk injury, and the extent of the spinal cord injury were collected from an adequate number of MR images. We evaluated anterior longitudinal ligaments, posterior longitudinal ligaments, and the ligamentum flavum. Length of lesion, disk disruption, and ligamentous injury association, as well as the extent of the spinal cord injury were statistically assessed by means of univariate analysis, with the use of nonparametric tests and multivariate analysis along with linear regression.

**RESULTS:** There were significant differences in lesion length on T2-weighted images for anterior longitudinal ligaments, posterior longitudinal ligaments, and ligamentum flavum in the univariate analysis; however, when this was adjusted by age, level of injury, sex, and disruption of the soft tissue evaluated (disk, anterior longitudinal ligaments, posterior longitudinal ligaments, and ligamentum flavum) in a multivariable analysis, only ligamentum flavum showed a statistically significant association with lesion length. Furthermore, the number of ligaments affected had a positive correlation with the extension of the lesion.

**CONCLUSIONS:** In cervical spine trauma, a specific pattern of ligamentous injury correlates with the length of the spinal cord lesion in MR imaging studies. Ligamentous injury detected by MR imaging is not a dynamic finding; thus it proved to be useful in predicting neurologic outcome in patients for whom the MR imaging examination was delayed.

**ABBREVIATIONS:** ALL = anterior longitudinal ligament; ASIA = American Spinal Injury Association Impairment Scale; LF = ligamentum flavum; PLL = posterior longitudinal ligament; SCI = spinal cord injury; SCIWORA = spinal cord injury without radiological abnormalities

Acute traumatic spinal cord injury (SCI) is located at the cervical level in 45–75% of cases.<sup>1,2</sup> Thus, cervical trauma is potentially the source of long-term disability because of its associated risk of SCI.<sup>2</sup> The internal architecture of the spinal cord, as well as soft tissue injury, is best visualized with MR imaging. However, MR imaging performed after the cervical trauma has prognostic implications for the therapeutic management of this disease; hence, it has become part of the standard imaging protocol

for patients with acute cervical spine injury.<sup>3</sup> Since the early 1990s, several studies have investigated the role of several radiologic findings in SCI.<sup>3,4</sup> Previous published reports have described the mechanism and biomechanics of spinal stability after blunt trauma.<sup>5–7</sup> It is believed that the degree of soft-tissue damage is related to the severity of the SCI. However, very few studies have similarly shown this association.

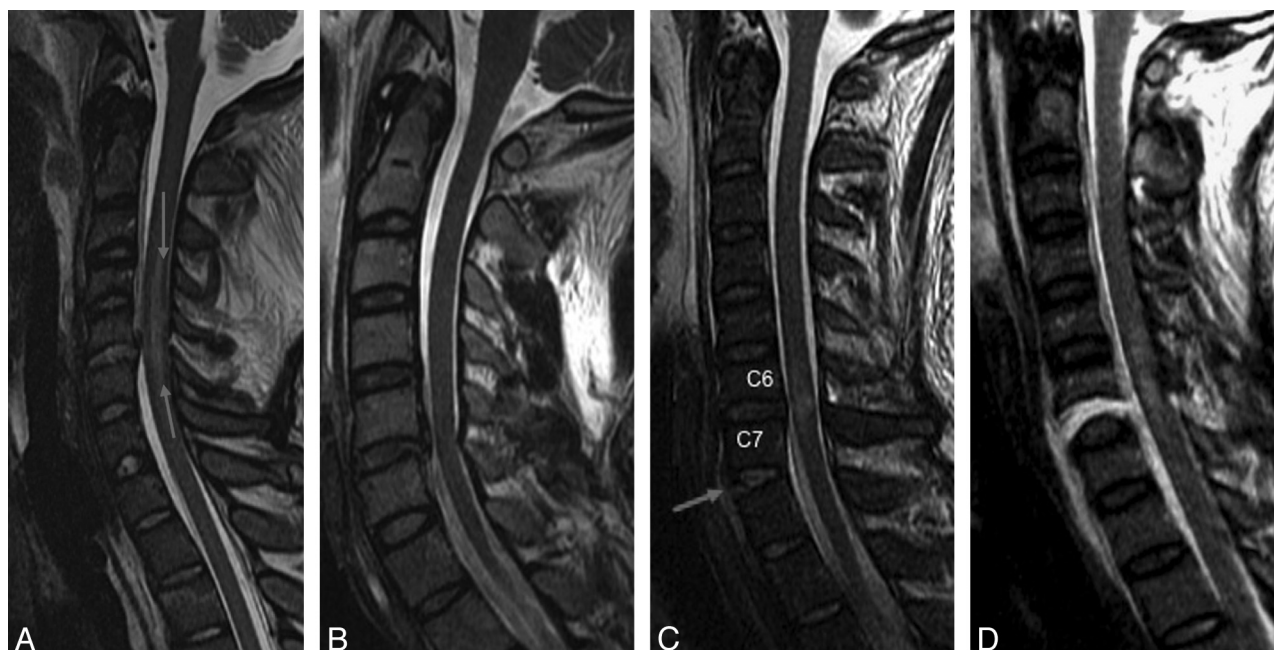
Instead, the correlation between lesion length and neurologic outcome has been sufficiently demonstrated in the acute phase after cervical trauma.<sup>8,9</sup> In fact, it has been recommended that the first MR imaging should be performed 24–72 hours after injury.<sup>10</sup> The prognostic value of MR imaging in later stages is less clear because of the dynamic nature of edema and the dependence on the lesion length after trauma.<sup>11</sup> Therefore, we designed this study to detect soft-tissue injuries that are related to more pronounced

Received February 5, 2013; accepted after revision September 9.

From the Departments of Neurosurgery (R.M.-P., I.P., S.C., A.M.C.-L., R.D.L., P.A.G., A.L.) and Radiology (A.R.), and Intensive Care Unit (C.G.-F.), Hospital 12 de Octubre, Universidad Complutense de Madrid, Madrid, Spain.

Please address correspondence to Rafael Martínez-Pérez, MD, Hospital 12 de Octubre, Andalucía s/n, 28041, Madrid, Spain; e-mail: rafallsafin@hotmail.com

<http://dx.doi.org/10.3174/ajnr.A3812>



**FIGURE.** A, Traumatic herniation disk producing spinal cord compression at the same level; it is seen as hyperintensity in the T2-weighted image. Lesion length is measured in millimeters from the most cephalad level to the lowest (arrows). B, Sagittal projection on T2-weighted images. Disruption of posterior longitudinal ligament is visualized at level C5–C6. C, Sagittal projection on T2-weighted image. At level C7–T1, the injured anterior longitudinal ligament (arrow) is seen. Signal changes are shown at level C6–C7. D, Damage in anterior longitudinal ligament, posterior longitudinal ligament, ligamentum flavum, and disk are represented by a disruption in low signal intensity corresponding to this structure.

lesions, which MR imaging can detect, including more severe SCI. Soft-tissue injury is a more static finding than is cord edema and can convey potentially relevant information when MR imaging is delayed (Fig 1).

## MATERIALS AND METHODS

Patients with known SCI after non-penetrating cervical spine trauma over a 21-year period were recruited in the clinical, retrospective data base. Only patients in whom cervical MR imaging was performed within 96 hours after trauma were selected for further analysis.

Patients who were neurologically intact, or whose MR imaging was performed after the fourth day of the injury, were excluded. Patients with severe traumatic brain injury or upper cervical spine injuries (C1–C2 fractures) were also excluded from the analysis. Thoracic injuries were not included either.

We recorded clinical variables, including age, sex, mechanism of injury, and neurologic status. Epidemiologic data also examined age, sex, and mechanism of injury from the medical records. Neurologic status was assessed clinically during the first examination by using the American Spinal Injury Association Impairment Scale (ASIA) (Table 1).

Plain radiographs, CT scans, and MR images were consensually assessed by a neurosurgeon trained in cervical trauma images (I.P.) and an experimental neuroradiologist (A.R.). Both observers were blinded to patient clinical and neurologic data.

To diagnose the level and extension of injury and determine the number of fractures, plain radiographs, MR imaging, and CT were used. The presence of fracture and bone integrity was assessed in the CT scan.

Soft-tissue injury was assessed with the use of MR imaging and

**Table 1: American Spinal Injury Association Impairment Scale**

Grade A	Complete: No sensory or motor function is preserved in the sacral segments S4–S5
Grade B	Incomplete: Sensory but not motor function is preserved below the neurological level and includes the sacral segments S4–S5
Grade C	Incomplete: Motor function is preserved below the neurological level, and more than half of key muscles below the neurological level have a muscle grade <3
Grade D	Incomplete: Motor function is preserved below the neurological level, and at least half of key muscles below the neurological level have a muscle grade ≥3
Grade E	Normal: Sensory and motor function is normal

analyzed with anterior longitudinal ligament (ALL), posterior longitudinal ligament (PLL), and ligamentum flavum (LF), and the intervertebral disk was examined. In all patients, MR imaging was performed within the first 4 days after trauma. MR imaging was performed with the use of a 1.5T magnet and 3-mm section thickness for axial and sagittal planes. We analyzed ligamentous injury by assessing disruption in T1- and T2-weighted images (in a sagittal plane), including axial T2- and T2\*-weighted images. In all patients, lesion length was determined by intramedullary cord signal intensity change in T2-weighted images and was defined as the distance in millimeters between the most caudal and cephalad signal intensity change in the cord. Soft-tissue disruption was defined as a clear MR imaging signal with complete discontinuity of the structure in all appropriate imaging sections.

The segment affected was defined as fracture level with only 1 fracture: if there was more than 1, it was defined as the fracture

level that produced the most cord compression. In cases with SCI but without radiologic abnormalities (SCIWORA), we considered the segment to be affected when the soft tissues were most injured.

We analyzed the data with univariate and multivariate methods to compare the damage of soft-tissue structures (LF, ALL, PLL, and disk), including the extent of SCI. ALL, PLL, LF, and disk injuries were independently analyzed as dichotomous variables (damaged or intact); the extent of SCI (distance between the most caudal and cephalad of the cord signal intensity change [hyperintensity] in a sagittal plane, T2-weighted image measured in millimeters) was considered to be a continuous variable. Levels of injury, age, and sex were analyzed as potential covariates. Sex (male/female) and level of injury (upper lesion, C3-C4-C5 and lower lesion, C6-C7-C8) were considered dichotomous variables, whereas age was seen as a continuous variable. The Mann-Whitney *U* test compared lesion length of each predefined qualitative variable (ALL, PLL, LF, and disk damage, sex, and level of injury). Spearman *ρ* was calculated to demonstrate the correlation between lesion length and age. Variables with a value of  $P < .1$  were included in the multivariate analysis. Linear regression was used for the multivariate analysis as well.

The Kruskal-Wallis test could also probe a possible association between how many ligaments were affected (none, 1, 2, or 3 ligaments), including lesion length.

The association between lesion length and neurologic status was also analyzed. Lesion length was considered a continuous variable, as stated previously. Neurologic status at admission was separated as complete SCI (ASIA A) and incomplete SCI (ASIA B, C, and D). We used a *t* test to compare the lesion length for the 2 groups. The threshold for statistical significance was  $P < .05$ , and all tests were calculated by use of SPSS v20 (IBM, Armonk, New York).

## RESULTS

We retrospectively reviewed 331 patients with known or suspected SCI or with radiculopathy after a non-penetrating cervical spine trauma who presented to the emergency department or the intensive care unit at our institution between 1990–2011. MR imaging was performed on 186 patients within 96 hours after trauma who were then selected for further analysis. We excluded 40 patients with severe traumatic brain injury from the analysis. In addition, 38 patients with upper cervical spine trauma (C1–C2 fractures) were also excluded. Finally, data analysis included 108 patients (87 men and 21 women, ages 17–86 years; overall mean age, 40.5 years) (Table 2). Seventy-four patients had 1 fracture, 13 patients had 2, and 3 patients had 3 noncontiguous fractures, respectively. In 18 patients, there was no evidence of any fracture after radiologic examination: all patients were diagnosed with SCI without radiologic abnormalities (SCIWORA). The most common mechanism of injury was motor vehicle crash (Table 2). The C5–C6 spinal level was most commonly involved (Table 2). As stated, MR imaging was performed within 96 hours after the trauma occurred in all patients, whereas in 81.4% of these patients, it was performed within the first 72 hours. According to ASIA, there were 39 patients with ASIA A, 10 patients with ASIA B, 22 patients with ASIA C, and 37 patients with ASIA D (Table 2).

**Table 2: Characteristics of patients with acute traumatic cervical SCI**

Characteristic	No. of Patients (%)
Mean age, y	40.5 (17–86)
Male	87 (80.6)
Female	21 (19.4)
Severity of SCI	
ASIA A	39 (36.1)
ASIA B	10 (9.3)
ASIA C	22 (20.3)
ASIA D	37 (34.3)
Spinal level of SCI	
C3–C4	16 (14.8)
C4–C5	22 (20.3)
C5–C6	31 (28.7)
C6–C7	24 (22.2)
C7–T1	15 (13.8)
Cause of SCI	
Motor vehicle crash	61 (56.4)
Car crash	35 (32.4)
Pedestrians	8 (7.4)
Motorcyclists	18 (16.6)
Falls	33 (30.6)
Sport injury	9 (8.3)
Aggression/assault	5 (4.6)

**Table 3: Univariate analysis: Qualitative variables (soft tissues)**

Structure	No. of Cases (%)		Mean Length of Lesion, mm		<i>P</i> Value
	Intact	Disrupted	Intact	Disrupted	
ALL	51 (47.2)	57 (52.8)	43.22	64.60	<.001
PLL	45 (41.7)	63 (58.3)	47.64	59.40	.05
LF	56 (51.9)	52 (48.1)	35.96	74.46	<.001
Disk	46 (42.6)	62 (57.4)	47.48	59.71	.044

**Table 4: Multivariate analysis: Linear regression**

Dependent Variable	Independent Variable	<i>P</i> Value
Lesion length (mm)	ALL	.395
	PLL	.525
	LF	<.001
	Disk	.464
	Age	.215

**Note:**— $R^2$  value of prediction model number 1 = 0.365.

Age was correlated with lesion length ( $P = .036$ ) in the univariate analysis and was included in the multivariate analysis as a covariate. The level of lesion ( $P = .449$ ) and sex ( $P = .398$ ) were not associated with larger lesions in the univariate analysis. Eighteen patients did not show hyperintensity changes in T2-weighted images. ALL was disrupted in 52.8% of cases, PLL in 58.3%, LF in 48.1%, and disk in 57.4%. Average cord lesion length (in mm) for disrupted and non-disrupted soft tissue was 64.60 and 43.22 for ALL, 59.40 and 47.64 for PLL, 74.46 and 35.96 for LF, 59.71 and 47.48 for disk, respectively. All structures showed a greater mean lesion length when there was soft-tissue disruption, compared with when there was not disruption. With the use of univariate analysis, LLA, PLL, LF, and disk disruption were related to a significantly larger lesion length (Table 3). However, in multivariate analysis, LF was the only structure showing a significant association between the ligament injured and greater lesion length (Table 4).

There were 22 patients without disrupted ligaments, 34 with 1

disrupted ligament, 17 with 2 disrupted ligaments, and 35 with 3 disrupted ligaments. Mean lesion lengths in millimeters were 29.75, 50.15, 56.38, and 73.37 for none, 1, 2, and 3 disrupted ligaments, respectively. The number of disrupted ligaments correlated with lesion length (Pearson correlation coefficient, 0.49;  $P < .01$ ).

Patients with complete SCI at admission had a larger intramedullary lesion ( $P < .001$ ) than did patients with incomplete SCI.

## DISCUSSION

Previous studies show that lesion lengths measured in sagittal T2-weighted images are related to patient prognosis.<sup>9,12–14</sup> Edema is seen in T2 MR imaging sequences as hyperintensity of the signal within the cord, whereas a low intensity area on T2-weighted images in the acute stage is thought to indicate intramedullary hemorrhage, attributed to deoxyhemoglobin.<sup>15,16</sup> In addition, because hemorrhage is almost always concurrent with edema, it is common to measure signal hyperintensity in T2-weighted images to determine the length of the lesion.<sup>17</sup> It is not clear whether these signal changes are a result of primary or secondary spinal cord damage.<sup>18</sup>

MR imaging may be a useful tool in the management of cervical trauma, especially in cases of questionable structural instability, because it is extremely useful in detecting soft-tissue injury.<sup>19,20</sup> Patients without demonstrated abnormalities in plain radiographs or CT may show signs of instability with MR imaging, as determined by soft-tissue involvement. Some authors have demonstrated that different ligamentous injuries are associated with spinal instability; therefore, this could serve as a guide for surgical treatment of traumatic instability of the spinal cord. Greater posterior vertebral body translation and angulation are related to disruption of the posterior ligamentous complex<sup>21,22</sup> and are indirect signs of spinal instability.

For assessing disruption of ligaments, T2-weighted images in the sagittal plane should be included in all MR imaging protocols.<sup>3</sup> Other sequences have been described in the literature to rule out soft-tissue injuries, such as fat-suppressed T2 images (STIR).<sup>19,20</sup> In acute cervical trauma, MR imaging has moderate to high sensitivity for injury of specific ligamentous structures but low specificity for intraoperative findings of the same injuries.<sup>23,24</sup> The posterior ligamentous complex consists of supraspinous and interspinous ligaments: the LF, the facet capsules, and the cervical fascia.<sup>25–28</sup> In several studies, MR imaging was also sensitive for the evaluation of injury of the posterior ligamentous complex<sup>19,24</sup>; this suggests that injury to ALL may be underestimated with the use of MR imaging, if the findings are considered in isolation. The explanation is that ALL and PLL adhere to the disk, whereas only the ALL adheres to the vertebrae, such that the PLL is easier to identify.<sup>3</sup>

We have discussed the importance of MR imaging in the detection of ligamentous injury after cervical trauma: it also determines the structural stability of the cervical spine. Spinal instability is related to neurologic injury and therefore to cord injury because the involvement of soft tissue may play a role in the extent of SCI. This report shows that damage to soft tissue such as LF, ALL, PLL, and disk is related to longer-length cord hyperintensity

as measured in T2-weighted images; when this was adjusted for age, level of injury, sex, and ligamentous or disk injury in a multivariate analysis, only LF injury was found to be significantly associated with lesion length.

We hypothesize that LF injury is more strongly correlated with extension of cord damage, in that posterior elements are associated with increased instability and therefore with greater SCI. Another possible explanation is that the LF is more elastic and that more pressure is needed to break it. The force required for this kind of injury would be responsible for SCI; it is probably the result of a combination of the 2 mechanisms because they are not mutually exclusive. We excluded patients with upper cervical fractures because these lesions are the result of different injury mechanisms.<sup>18</sup>

Several prognostic factors have been described as predictive of traumatic spinal cord damage.<sup>10,13,17,29–32</sup> Some studies have focused on particular clinical features, such as SCIWORA,<sup>29,33</sup> Central Cord syndrome,<sup>29</sup> or Brown-Sequard syndrome.<sup>34</sup> Evidence in the literature shows that more severe abnormalities seen through MR imaging have been associated with more severe neurologic status. Excessive edema, changes in T2-weighted images, greater degree of cord compression, and hemorrhage have been related to worse neurologic outcomes.<sup>9,35–38</sup> Gain in motor strength at follow-up has been seen to correlate with a decrease in T2-weighted hyperintensity in serial MR imaging studies.<sup>39</sup> Some authors have described a close correlation between level of injury and severity of SCI.<sup>30</sup> Miranda et al<sup>34</sup> found an association between MR imaging signal changes and level of injury. Therefore, because the level of injury is related anatomically with the level of fracture, we also introduced this factor in the multivariate analysis. To our knowledge, there is 1 paper in the literature that relates the severity of ligamentous injury with degree of SCI.<sup>6</sup> In this study, we found that the severity of PLL, versus ALL injury, was correlated with more severe SCI, especially in patients with extension fractures.

Our study found that patients without signal changes in the spinal cord had few neurologic deficits. Patients with complete SCI showed larger lesions than did those with incomplete SCI. This in turn highlights the correlation between radiologic and clinical findings.

## Limitations

The first limitation of our study may be related to the timing of the MR imaging. Clinical instability associated with cervical trauma sometimes impedes the reliability of MR imaging in the first hours. A review of the literature by Bozzo et al<sup>3</sup> concluded that MR imaging should be done in the acute period after SCI for better prognostication. It has also been recommended that the first MR imaging should be performed 24–72 hours after trauma.<sup>10</sup> However, there is a lack of evidence supporting precise guidelines.<sup>3,23</sup> In fact, transferring critical or unstable patients from the intensive care unit to an x-ray room presents an unacceptable risk during the first days, especially in patients with trauma. Length of edema in T2-weighted images depends on the time when the MR imaging was performed after trauma.<sup>11</sup> The extension of the lesion may be overestimated in patients in whom MR imaging was performed at a later point in time. To focus on



acute traumatic injury, and to minimize potential bias introduced with chronic injury, we only included patients who had undergone MR imaging during the first 96 hours after injury. In 82.4% of these patients, MR imaging was performed within 72 hours after trauma.

The second limitation of our study could be correct identification and diagnosis of ligament disruption. T2-weighted images have shown moderate to high sensitivity with low specificity when compared with intraoperative findings in ligament disruption.<sup>23,24</sup> Other sequences have been described in the literature that rule out soft-tissue injuries, such as STIR. One study showed a high correlation between STIR sequences and intraoperative findings in detecting soft-tissue injury.<sup>27</sup> Unfortunately, the STIR sequence was not included in all cervical trauma protocols during the initial years of this study; in this sense, not all patients were observed for STIR sequence, even though most were. We used STIR for assessment of soft tissue when it was available. Any assessment of the extent of damage in spinal cord and ligament injuries is subjective, which poses another potential limitation and source of bias.

Third, this study comprised a select group of cases that were managed in the intensive care or neurosurgery units. Minor cervical trauma with a lesser degree of lesion does not require MR imaging by protocol in most cases. Furthermore, this study does not include all patients with cervical spine trauma, but it does involve most patients with more severe cervical trauma.

Fourth, steroids were not included in our treatment protocol after Bracken et al<sup>40</sup> could not corroborate statistically significant benefits from steroids. Most patients did not receive steroids, and it was therefore not possible to access this information in relation to the time of imaging; thus, this factor could not be adequately analyzed because it could have affected length of abnormal cord signals.

Finally, lesion length represents the degree of SCI but is not a measure of neurologic outcome at follow-up. In this light, interpretation of these results should be taken with caution. Nevertheless, initial neurologic examination tends to have a certain degree of subjectivity: in patients with trauma, sedation, distractive pain, or clinical condition confounds reliable interpretation of the neurologic state at admission. This is often the case when it is necessary to differentiate between ASIA A (complete SCI) and ASIA B (incomplete, but no motor function preserved) in sedated patients. In the acute phase, lesion length is a measure that has been well correlated with neurologic recovery.<sup>9,11</sup> Reliability issues, as the result of feasibility of clinical examination for initial assessment of cervical spine trauma, were better determined in our study when MRI was performed within 96 hours after trauma. We prefer to use a continuous quantitative variable to indirectly appraise the degree of SCI. Our results correlate with those of previous works,<sup>8,9,36</sup> and larger lesions statistically correlate with more severe neurologic deficits with complete SCI in the acute phase ( $P < .001$ ). However, other investigators have found that lesion length depends on the time of MR imaging after trauma.<sup>11</sup> The value of the extent of the lesion may be overestimated in patients for whom MR imaging was performed later. Therefore, we must determine which soft-tissue injury is associated with a greater degree of SCI, given that this is a static finding; however,

intramedullary signal changes are dynamic, and their prognostic value decreases over time. Injury of the LF is a feature perdurable over time. It can also be detected when MR imaging is performed at a more delayed stage if the patient is clinically unstable during the acute phase and the MR imaging is not able to be obtained at an earlier stage. It could also be helpful in predicting neurologic outcome in these cases.

## CONCLUSIONS

We have presented the first study that correlates ALL, PLL, LF, and disk lesions according to the degree of spinal cord damage. Patients who had disruption of the LF showed greater length of lesion as measured by MR imaging. Additionally, the statistical association between number of ligaments injured and greater signal changes in T2-weighted images of the spinal cord has been demonstrated.

We still have several concerns (timing of imaging, poor specificity in measurement method, short follow-up period, lack of objectivity); however, findings suggest that the extent of the T2 signal (after cervical spine trauma) correlates to a specific pattern of ligamentous injury. This might help determine neurologic outcome when MR imaging is performed after the acute phase, in that other features have less predictive potential.

Carefully designed studies, including neurologic outcome at follow-up, are needed to confirm some of our preliminary observations.

Disclosures: Ana Ramos—UNRELATED: Grants/Grants Pending: FIS\* (\*money paid to institution).

## REFERENCES

1. Hasler RM, Exadaktylos AK, Bouamra O, et al. **Epidemiology and predictors of spinal injury in adult major trauma patients: European cohort study.** *Eur Spine J* 2011;20:2174–80
2. Milby AH, Halpern CH, Guo W, et al. **Prevalence of cervical spinal injury in trauma.** *Neurosurg Focus* 2008;25:E10
3. Bozzo A, Marcoux J, Radhakrishna M, et al. **The role of magnetic resonance imaging in the management of acute spinal cord injury.** *J Neurotrauma* 2011;28:1401–11
4. Boldin C, Raith J, Fankhauser F, et al. **Predicting neurologic recovery in cervical spinal cord injury with postoperative MR imaging.** *Spine* 2006;31:554–59
5. Pizones J, Izquierdo E, Sanchez-Mariscal F, et al. **Sequential damage assessment of the different components of the posterior ligamentous complex after magnetic resonance imaging interpretation: prospective study 74 traumatic fractures.** *Spine* 2012;37:E662–67
6. Song KJ, Kim GH, Lee KB. **The efficacy of the modified classification system of soft tissue injury in extension injury of the lower cervical spine.** *Spine* 2008;33:E488–93
7. Vaccaro AR, Madigan L, Schweitzer ME, et al. **Magnetic resonance imaging analysis of soft tissue disruption after flexion-distraction injuries of the subaxial cervical spine.** *Spine* 2001;26:1866–72
8. Flanders AE, Spettell CM, Tartaglino LM, et al. **Forecasting motor recovery after cervical spinal cord injury: value of MR imaging.** *Radiology* 1996;201:649–55
9. Miyajima F, Furlan JC, Aarabi B, et al. **Acute cervical traumatic spinal cord injury: MR imaging findings correlated with neurologic outcome: prospective study with 100 consecutive patients.** *Radiology* 2007;243:820–27
10. Bondurant FJ, Cotler HB, Kulkarni MV, et al. **Acute spinal cord injury: a study using physical examination and magnetic resonance imaging.** *Spine* 1990;15:161–68
11. Leypold BG, Flanders AE, Burns AS. **The early evolution of spinal**

- cord lesions on MR imaging following traumatic spinal cord injury. *AJNR Am J Neuroradiol* 2008;29:1012–16
12. Andreoli C, Colaiacono MC, Rojas Beccaglia M, et al. MRI in the acute phase of spinal cord traumatic lesions: relationship between MRI findings and neurological outcome. *Radiol Med* 2005;110:636–45
  13. Ramon S, Dominguez R, Ramirez L, et al. Clinical and magnetic resonance imaging correlation in acute spinal cord injury. *Spinal Cord* 1997;35:664–73
  14. Shimada K, Tokioka T. Sequential MR studies of cervical cord injury: correlation with neurological damage and clinical outcome. *Spinal Cord* 1999;37:410–15
  15. Flanders AE, Schaefer DM, Doan HT, et al. Acute cervical spine trauma: correlation of MR imaging findings with degree of neurological deficit. *Radiology* 1990;177:25–33
  16. Kulkarni MV, Bondurant FJ, Rose SL, et al. 1.5 Tesla magnetic resonance imaging of acute spinal trauma. *Radiographics* 1988;8:1059–82
  17. Flanders AE, Spettell CM, Friedman DP, et al. The relationship between the functional abilities of patients with cervical spinal cord injury and the severity of damage revealed by MR imaging. *AJNR Am J Neuroradiol* 1999;20:926–34
  18. Alday R, Lobato RD, Gomez PA. Cervical spine fractures. In: *Neurosurgery*. New York: Churchill Livingstone; 1996
  19. Pizones J, Sanchez-Mariscal F, Zuniga L, et al. Prospective analysis of magnetic resonance imaging accuracy in diagnosing traumatic injuries of the posterior ligamentous complex of the thoracolumbar spine. *Spine* 2012 Oct 19 [Epub ahead of print]
  20. Pizones J, Zuniga L, Sanchez-Mariscal F, et al. MRI study of post-traumatic incompetence of posterior ligamentous complex: importance of the supraspinous ligament. prospective study of 74 traumatic fractures. *Eur Spine J* 2012;21:2222–31
  21. Radcliff K, Su BW, Kepler CK, et al. Correlation of posterior ligamentous complex injury and neurological injury to loss of vertebral body height, kyphosis, and canal compromise. *Spine* 2012;37:1142–50
  22. Samartzis D, Wein SM, Shen FH, et al. A revisitation of distractive-extension injuries of the subaxial cervical spine: a cadaveric and radiographic soft tissue analysis. *Spine* 2010;35:395–402
  23. Goradia D, Linnau KF, Cohen WA, et al. Correlation of MR imaging findings with intraoperative findings after cervical spine trauma. *AJNR Am J Neuroradiol* 2007;28:209–15
  24. Rihn JA, Fisher C, Harrop J, et al. Assessment of the posterior ligamentous complex following acute cervical spine trauma. *J Bone Joint Surg Am* 2010;92:583–89
  25. Carrino JA, Manton GL, Morrison WB, et al. Posterior longitudinal ligament status in cervical spine bilateral facet dislocations. *Skeletal Radiol* 2006;35:510–14
  26. Haba H, Taneichi H, Kotani Y, et al. Diagnostic accuracy of magnetic resonance imaging for detecting posterior ligamentous complex injury associated with thoracic and lumbar fractures. *J Neurosurg* 2003;99:20–26
  27. Lee HM, Kim HS, Kim DJ, et al. Reliability of magnetic resonance imaging in detecting posterior ligament complex injury in thoracolumbar spinal fractures. *Spine* 2000;25:2079–84
  28. Vaccaro AR, Hulbert RJ, Patel AA, et al. The subaxial cervical spine injury classification system: a novel approach to recognize the importance of morphology, neurology, and integrity of the discoligamentous complex. *Spine* 2007;32:2365–74
  29. Collignon F, Martin D, Lenelle J, et al. Acute traumatic central cord syndrome: magnetic resonance imaging and clinical observations. *J Neurosurg* 2002;96:29–33
  30. Liao CC, Lui TN, Chen LR, et al. Spinal cord injury without radiological abnormality in preschool-aged children: correlation of magnetic resonance imaging findings with neurological outcomes. *J Neurosurg* 2005;103:17–23
  31. Silberstein M, Hennessy O. Implications of focal spinal cord lesions following trauma: evaluation with magnetic resonance imaging. *Paraplegia* 1993;31:160–67
  32. Yamashita Y, Takahashi M, Matsuno Y, et al. Acute spinal cord injury: magnetic resonance imaging correlated with myelopathy. *Br J Radiol* 1991;64:201–09
  33. Dare AO, Dias MS, Li V. Magnetic resonance imaging correlation in pediatric spinal cord injury without radiographic abnormality. *J Neurosurg* 2002;97:33–39
  34. Miranda P, Gomez P, Alday R, et al. Brown-Sequard syndrome after blunt cervical spine trauma: clinical and radiological correlations. *Eur Spine J* 2007;16:1165–70
  35. Dai L, Jia L. Central cord injury complicating acute cervical disc herniation in trauma. *Spine* 2000;25:331–35
  36. Marciello MA, Flanders AE, Herbison GJ, et al. Magnetic resonance imaging related to neurologic outcome in cervical spinal cord injury. *Arch Phys Med Rehabil* 1993;74:940–46
  37. Selden NR, Quint DJ, Patel N, et al. Emergency magnetic resonance imaging of cervical spinal cord injuries: clinical correlation and prognosis. *Neurosurgery* 1999;44:785–92
  38. Shepard MJ, Bracken MB. Magnetic resonance imaging and neurological recovery in acute spinal cord injury: observations from the National Acute Spinal Cord Injury Study 3. *Spinal Cord* 1999;37:833–37
  39. Miranda P, Gomez P, Alday R. Acute traumatic central cord syndrome: analysis of clinical and radiological correlations. *J Neurosurg Sci* 2008;52:107–12
  40. Bracken MB, Shepard MJ, Collins WF, et al. A randomized, controlled trial of methylprednisolone or naloxone in the treatment of acute spinal-cord injury: results of the Second National Acute Spinal Cord Injury Study. *N Engl J Med* 1990;322:1405–11

## **GRUPO I: INFLUENCIA DE LA LESIÓN DE TEJIDOS BLANDOS EN LA EXTENSIÓN DE LA LESIÓN (RESUMEN)**

Nuestra primera cohorte incluyó 108 pacientes (87 hombres y 21 mujeres) con edades comprendidas entre 17 y 86 años (media 40.6 años). Setenta y cuatro pacientes presentaron una fractura, 13 tuvieron 2 fracturas no contiguas a nivel cervical, y 3 pacientes presentaron 3 ó más fracturas. En 18 pacientes no existía evidencia de fractura a nivel óseo (SCIWOCOTET). El mecanismo lesional más frecuente fue el accidente de tráfico y el nivel más comúnmente afectado fue C5-C6 (Tabla 4.1).

Respecto al grado de lesión neurológica de acuerdo a la escala ASIA, 39 pacientes se presentaron con una lesión medular completa (ASIA A), 10 pacientes con ASIA B, 22 pacientes con ASIA C y 37 pacientes con ASIA D (Tabla 4.1). La prueba T de Student demostró que los pacientes con lesión medular completa (ASIA) mostraron lesiones más extensas que los pacientes con lesiones medulares incompletas ( $p < 0.001$ ).



Characteristic	No. of Patients (%)
Mean age, y	40.5 (17–86)
Male	87 (80.6)
Female	21 (19.4)
Severity of SCI	
ASIA A	39 (36.1)
ASIA B	10 (9.3)
ASIA C	22 (20.3)
ASIA D	37 (34.3)
Spinal level of SCI	
C3–C4	16 (14.8)
C4–C5	22 (20.3)
C5–C6	31 (28.7)
C6–C7	24 (22.2)
C7–T1	15 (13.8)
Cause of SCI	
Motor vehicle crash	61 (56.4)
Car crash	35 (32.4)
Pedestrians	8 (7.4)
Motorcyclists	18 (16.6)
Falls	33 (30.6)
Sport injury	9 (8.3)
Aggression/assault	5 (4.6)

**Tabla 4.1.** Características de la muestra de los pacientes con LMA (Grupo I).

El LCA estaba lesionado en el 53 % de los casos, el LCP en el 58% y el LF en el 48 %. El análisis univariable mostró que la lesión del ligamento amarillo, del ligamento común anterior y el disco intervertebral estaban significativamente asociadas con una mayor longitud de la lesión (Tabla 4.2).

Structure	No. of Cases (%)		Mean Length of Lesion, mm		P Value
	Intact	Disrupted	Intact	Disrupted	
ALL	51 (47.2)	57 (52.8)	43.22	64.60	<.001
PLL	45 (41.7)	63 (58.3)	47.64	59.40	.05
LF	56 (51.9)	52 (48.1)	35.96	74.46	<.001
Disk	46 (42.6)	62 (57.4)	47.48	59.71	.044

**Tabla 4.2.** Análisis univariable (rho Spearman). Relación entre lesión de tejidos blandos y longitud de la lesión. Nivel significación  $p < 0.05$ . (ALL=Ligamento común anterior; PLL=Ligamento común posterior; LF=ligamentum flavum o ligamento amarillo; disk=disco intervertebral)

Tras introducir todas las variables anteriores en el análisis multivariable y tras añadir potenciales covariables (edad) quedó demostrado que la lesión del ligamento amarillo era el único hallazgo que demostró ser independiente de las demás en su asociación con la longitud de la lesión. (Tabla 4.3)

Dependent Variable	Independent Variable	P Value
Lesion length (mm)	ALL	.395
	PLL	.525
	LF	<.001
	Disk	.464
	Age	.215

**Tabla 4.3.** Análisis multivariable (regresión lineal). Relación entre lesión de tejidos blandos y longitud de la lesión. Nivel significación  $p < 0,05$ . (ALL=Ligamento común anterior; PLL=Ligamento común posterior; LF=ligamentum flavum o ligamento amarillo; disk=disco intervertebral)

Respecto al número de ligamentos implicados, 22 pacientes no presentaban disrupción de ninguno de los ligamentos analizados (LCA, LCP y LF), 34 pacientes mostraron lesión en uno de los ligamentos, en 17 de ellos en 2 ligamentos y 35 de los pacientes en los 3 ligamentos analizados (Figura 3.3.D). El número de ligamentos aceptados mostró una correlación significativa con la longitud de la lesión ( $r$  Pearson 0,49;  $p < 0,01$ ).



**GRUPO II:**

**VARIABLES PRONÓSTICAS EN EL**

**PACIENTE CON SCIWOCTET**





# Cervical Spinal Cord Injury without Computed Tomography Evidence of Trauma in Adults: Magnetic Resonance Imaging Prognostic Factors

Rafael Martinez-Perez<sup>1,2</sup>, Pablo M. Munarriz<sup>2</sup>, Igor Paredes<sup>2</sup>, Javier Cotrina<sup>3</sup>, Alfonso Lagares<sup>2</sup>

**■ BACKGROUND:** Spinal cord injury (SCI) without computed tomography evidence of trauma is underreported in adults and is considered a subtype of SCI with relatively good outcome. Despite this, few studies have been performed to determine specific imaging-related prognostic factors. Our objective is to describe the imaging characteristics of patients experiencing blunt cervical spine trauma with neurologic deficits, but without radiologic abnormalities and associated prognostic factors.

**■ METHODS:** A retrospective review of all adult patients with cervical SCI admitted to the emergency room of 2 university hospitals from January 2004 to December 2013 was performed. Only patients with a magnetic resonance imaging (MRI) performed within 72 hours after trauma were included for further analysis. All patients with bony injury or traumatic malalignment were excluded. Data gathered on the remaining patients included demographics, mechanism of injury, severity of SCI, long-term patient outcome, improvement in neurologic condition, and MRI results.

**■ RESULTS:** There were 48 patients who met the inclusion and exclusion criteria, and 40 who demonstrated improvement in the neurologic examination at follow-up. Disruption of either the anterior longitudinal ligament or ligamentum flavum and larger lesions in the MRI were predictors of lack of neurologic improvement.

**■ CONCLUSIONS:** Early MRI has prognostic value in patients suffering SCI without computed tomography evidence of trauma. Lesion length is a powerful predictor of outcome in this subgroup of patients. Soft tissue injury plays a role in the severity of injury and the ability to recover in this subgroups of patients.

## INTRODUCTION

Spinal cord injury (SCI) after blunt spine trauma is located in the cervical spine in approximately two-thirds of cases.<sup>1</sup> Most often, cervical SCI is caused by fracture or subluxation, which is easily diagnosed by normal plain radiographs or computed tomography (CT) scans. However, SCI may also occur in absence of bony abnormality. To address such instances, Pang and Wilberger<sup>2</sup> first defined the term spinal cord injury without radiologic abnormality (SCIWORA) as the presence of neurologic deficit in the setting of normal radiograph and CT scan.

Originally, SCIWORA was thought to affect children only,<sup>2</sup> but recently published articles suggest that this entity may also occur in adults.<sup>3</sup> These patients usually have degenerative changes in the cervical spine. Furthermore, development of magnetic resonance imaging (MRI) has shown that this entity is commonly associated with signal changes within the spinal cord, which explain the

## Key words

- Adults
- Cervical trauma
- Prognosis
- SCIWOCTET
- SCIWORA
- Spinal cord injury

## Abbreviations and Acronyms

- ALL:** Anterior longitudinal ligament
- ASIA:** American Spinal Injury Association
- ATCCS:** Acute traumatic central cord syndrome
- CT:** Computed tomography
- GRE:** Gradient echo
- LF:** Ligamentum flavum
- MCC:** Maximum canal compromise
- MRI:** Magnetic resonance imaging
- MSCC:** Maximum spinal cord compromise

**SCI:** Spinal cord injury

**SCIWOCTET:** Spinal cord injury without computed tomography evidence of trauma

**SCIWORA:** Spinal cord injury without radiologic abnormality

From the <sup>1</sup>Department of Clinical Neurological Sciences of University of Western Ontario, London, ON, Canada; <sup>2</sup>Department of Neurosurgery of Hospital 12 de Octubre, Universidad Complutense, Madrid, Spain; and <sup>3</sup>Department of Rehabilitation of Hospital Puerta del Mar, Universidad de Cádiz, Cádiz, Spain

To whom correspondence should be addressed: Rafael Martinez-Perez, M.D.  
[E-mail: rafa11safin@hotmail.com]

Citation: *World Neurosurg.* (2017) 99:192-199.  
<http://dx.doi.org/10.1016/j.wneu.2016.12.005>

Journal homepage: [www.WORLDNEUROSURGERY.org](http://www.WORLDNEUROSURGERY.org)

Available online: [www.sciencedirect.com](http://www.sciencedirect.com)

1878-8750/\$ - see front matter © 2016 Elsevier Inc. All rights reserved.

## **GRUPO II: VARIABLES PRONÓSTICAS EN EL PACIENTE CON SCIWOCTET**

### **(RESUMEN)**

Finalmente, este trabajo incluyó 48 pacientes (40 hombres y 8 mujeres, edad 18-87, mediana 50 años) con SCIWOCTET y una RM cervical realizada en las primeras 48 horas tras el accidente. El mecanismo de accidente más frecuente fue el accidente de tráfico y en nivel cervical C3-C4 más comúnmente afectado (Tabla 4.4).

Characteristic	Value (N = 49)
Mean age (years) (range)	54 (18–87)
Male	40 (83.3)
Female	8 (16.6)
Spinal level of SCI	
C3-4	22 (45.8)
C4-5	14 (29.1)
C5-6	7 (14.5)
C6-7	3 (6.2)
C7-T1	2 (4.1)
Cause of SCI	
Motor vehicle collision	23 (47.9)
Car collisions	12 (25)
Pedestrians	6 (12.5)
Motorcyclists	5 (10.4)
Falls	19 (39.5)
Sport injury	4 (8.3)
Aggression/assault	2 (4.1)
Values are number of patients (%) or as otherwise indicated. SCI, spinal cord injury.	

**Tabla 4.4.** Características de la muestra de los pacientes con SCIWOCTET (Grupo II).

De los 48 pacientes incluidos, 46 presentaban una LMA incompleta, y 2 una LMA completa. Ninguno de los pacientes con LMA completa mostró mejoría y todos excepto 8 de los pacientes con LMA incompleta mostraron algún tipo de mejoría al seguimiento (al menos un punto en la escala ASIA). Sin embargo, el análisis estadístico no encontró diferencias significativas en la capacidad de mejoría entre ambos subgrupos (LMA completa vs LMA incompleta) ( $p=0,44$ ) (Tabla 4.5). El 46 % de los pacientes con LMA incompleta mostró una mejoría completa al seguimiento (ASIA E).

Admission		Follow-Up			
ASIA grade	A	B	C	D	E
A (n = 2)	2				
B (n = 5)			2	3	
C (n = 15)			2	11	2
D (n = 26)				6	20
ASIA, American Spinal Injury Association.					

**Tabla 4.5.** Función neurológica de acuerdo a la escala ASIA al ingreso (admission) y al seguimiento (follow-up)

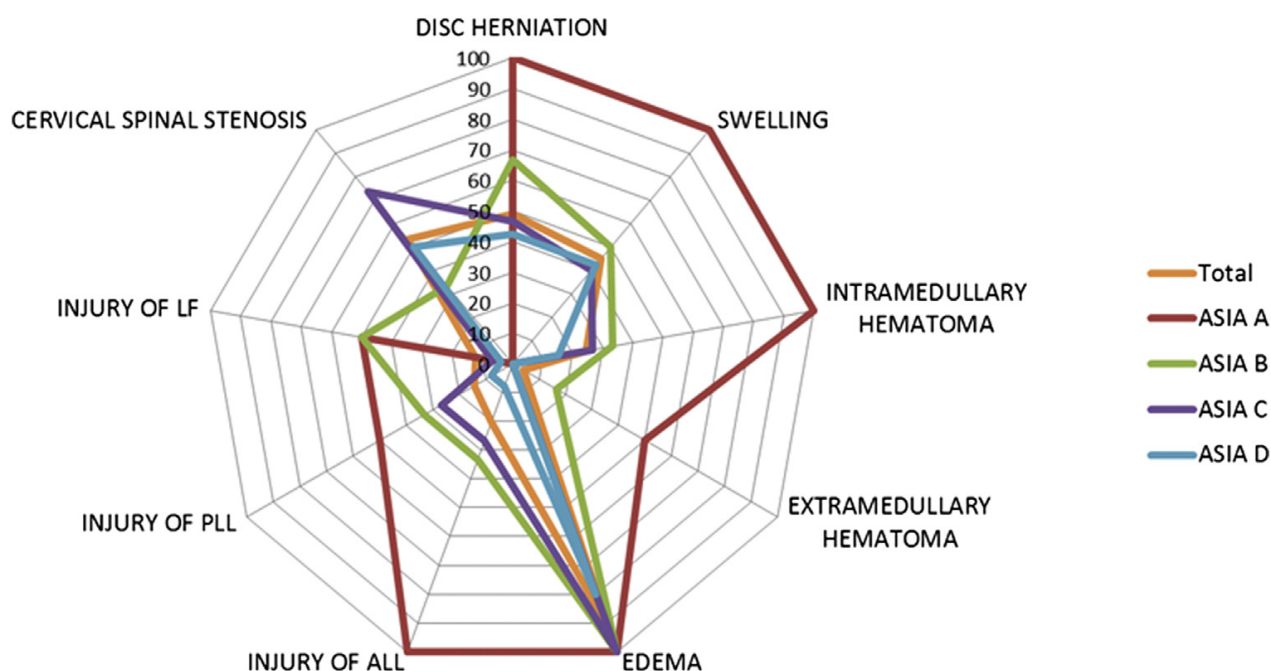
Treinta y ocho de los 48 pacientes (76%) debutaron con un síndrome centromedular. Ni la presencia de un síndrome centromedular al ingreso ( $p=0,414$ ), ni el grado de disfunción neurológica inicial (de acuerdo a la escala ASIA) ( $p=0,742$ ) demostró una asociación estadísticamente significativa con la capacidad de mejoría.

Catorce pacientes recibieron tratamiento quirúrgico (6 vía anterior, y 8 fueron tratados mediante laminectomía decompresiva o vía posterior).



Respecto a las características basales de la muestra, no existió diferencia en el tiempo de seguimiento, ni en el tipo de tratamiento recibido (quirúrgico vs conservador) entre los pacientes con mejoría neurológica y aquellos que no la presentaron ( $p>0,9$ ).

La figura 4.1 y la tabla 4.6 muestran la frecuencia de presentación (variables cualitativas) y la media y desviación estándar (variables cuantitativas) de cada uno de los hallazgos radiológicos en la RM precoz.



**Figura 4.1.** Frecuencia de presentación de las variables cualitativas (%) en nuestra muestra. (ALL=Ligamento común anterior; PLL=Ligamento común posterior; LF=ligamentum flavum o ligamento amarillo)

Variable	Mean $\pm$ SD
Age (years)	54 $\pm$ 18.3
Extent of lesion	20.1 $\pm$ 20.4
MCC	0.69 $\pm$ 0.25
MSCC	0.91 $\pm$ 0.24
MCC, maximum canal compromise; MSCC, maximum spinal cord compromise.	

**Tabla 4.6.** Media (mean) y desviación estándar (SD) para cada una de las variables cuantitativas analizadas en la muestra de pacientes con SCIWOCTET (Cohorte II). MCC=CMC=Compromiso Máximo de Canal; MSCC=CMM=Compromiso Máximo Medular.

Los pacientes con lesiones intramedulares de mayor tamaño y aquellos donde el ligamento amarillo estaba lesionado mostraron una asociación significativa con un peor pronóstico ( $p=0,05$  y  $p=0,01$ , respectivamente) (Tabla 4.7 y 4.8). La lesión del ligamento común anterior también estaba asociada a la ausencia de recuperación neurológica, aunque dicha relación carecía de significación estadística ( $p=0,07$ )

Variable	Mean Value for Improvement of at Least 1 Point on ASIA Impairment Scale		
	No	Yes	P Value
Age (years)	60.1	52.4	0.244
Extent of lesion	39.1	15.6	0.01
MCC	0.65	0.71	0.308
MSCC	0.99	0.89	0.237
ASIA, American Spinal Injury Association; MCC, maximum canal compromise; MSCC, maximum spinal cord compromise.			

**Tabla 4.7.** Análisis univariable de las variables radiológicas cuantitativas para la mejoría neurológica en los pacientes con SCIWOCTET. (MCC=compromiso máximo de canal, MSCC=compromiso máximo medular)

Qualitative Parameter		Percentage of Patients with Improvement of at Least 1 Point on ASIA Impairment Scale	
		%	P Value
Sex	Male	72.5	0.464
	Female	87.5	
Disk	Intact	79.2	>0.9
	Herniated	81	
Swelling	Absence	85.2	0.297
	Presence	71.4	
Intramedullary hematoma	Absence	80.6	0.695
	Presence	75	
Extramedullary hematoma	Absence	80.4	0.37
	Presence	50	
Edema	Absence	100	0.566
	Presence	77.3	
ALL	Intact	86.4	0.07
	Damaged	55.6	
PLL	Intact	78	>0.9
	Damaged	85.7	
LF	Intact	91.4	0.05
	Damaged	60	
Cervical canal stenosis	No	82.6	0.727
	Yes	76	
ALL, anterior longitudinal ligament; ASIA, American Spinal Injury Association; LF, ligamentum flavum; PLL, posterior longitudinal ligament.			

**Tabla 4.8.** Análisis univariable de las variables radiológicas cualitativas para la mejoría neurológica en los pacientes con SCIWOCTET. (ALL=Ligamento común anterior; PLL=Ligamento común posterior; LF=ligamentum flavum o ligamento amarillo)



**GRUPO III: VARIABLES  
PRONÓSTICAS EN EL PACIENTE CON  
LESION MEDULAR INCOMPLETA  
SECUNDARIA A TRAUMATISMO  
CERRADO (RESUMEN).**





# MRI Prognostication Factors in the Setting of Cervical Spinal Cord Injury Secondary to Trauma

Rafael Martínez-Pérez<sup>1,2</sup>, Santiago Cepeda<sup>2</sup>, Igor Paredes<sup>2</sup>, Jose F. Alen<sup>2</sup>, Alfonso Lagares<sup>2</sup>

**OBJECTIVE:** Several studies have looked for an association between radiologic findings and neurologic outcome after cervical trauma. In the current literature, there is a paucity of evidence proving the prognostic role of soft tissue damage or bony integrity. Our objective is to determine radiologic findings related to neurologic prognosis in patients after incomplete acute traumatic cervical spinal cord injury, regardless of initial neurologic examination results.

**METHODS:** We retrospectively reviewed patients with acute traumatic cervical spinal cord injury who had a magnetic resonance imaging (MRI) performed within the first 96 hours. Clinical and epidemiologic data were recorded from the medical records along with several radiologic findings from the initial computed tomographic scan and MRI. Data were analyzed using a non-parametric test. Significant prognostic factors were analyzed through a stepwise multivariable logistic regression, adjusted by neurologic status at baseline. The receiver-operating characteristic curve was used to test the discriminative capacity of the model.

**RESULTS:** Eighty-six patients (68 males and 18 females) were included for the analysis. Mean age was 49 years. Ligamentum flavum injury, intramedullary edema larger than 36 mm, and facet dislocation were demonstrated to be associated with a lack of neurologic improvement at follow-up. Multivariable analysis showed that edema

larger than 36 mm and facet dislocation were strong predictors of clinical outcome, regardless of the initial neurologic examination result.

**CONCLUSION:** Early MRI has an intrinsic prognostic value. Ligamentous injury and larger edema are strong predicting factors of a bad neurologic outcome at long-term follow-up.

## INTRODUCTION

Acute traumatic spinal cord injury (SCI) is located in the cervical spinal level in 45%–75% of patients.<sup>1</sup> Thus, cervical trauma is a source of great burden and long-term disability.<sup>1</sup>

Historically, prognostic studies in SCI have been focused on the use of initial clinical parameters to predict neurologic outcome.<sup>2</sup> In the first half of the 1990s, magnetic resonance imaging (MRI) became an essential tool in determining prognosis for patients with SCI.<sup>3</sup> Since then, several studies have looked for an association between the degree of SCI, as depicted by MRI in the acute period, and neurologic outcome.<sup>4–7</sup> However the number of studies showing a relationship between soft tissue lesions with the degree of SCI is scarce, although its role in spinal biomechanics is well established.<sup>8</sup> What is not well clarified is whether ligament disruption is a factor associated with the neurologic outcome. We hypothesize that besides classical radiologic variables associated with

## Key words

- Cervical
- MRI
- Neurologic recovery
- Outcome
- Prognostic
- Spinal cord injury
- Spine
- Spine trauma

## Abbreviations and Acronyms

- ALL:** Anterior longitudinal ligament
- ASIA:** American Spinal Injury Association
- CT:** Computed tomography
- LF:** Ligamentum flavum
- MRI:** Magnetic resonance imaging
- ROC:** Receiver operating characteristic

**SCI:** Spinal cord injury

**STIR:** Short tau inversion recovery

**TBI:** Traumatic brain injury

From the <sup>1</sup>Department of Clinical Neurological Sciences of University of Western Ontario, London, Canada; and <sup>2</sup>Department of Neurosurgery of Hospital 12 de Octubre, Universidad Complutense, Madrid, Spain

To whom correspondence should be addressed: Rafael Martínez-Pérez M.D.  
[E-mail: rafa11safin@hotmail.com]

Citation: *World Neurosurg.* (2017) 101:623–632.

<http://dx.doi.org/10.1016/j.wneu.2017.02.034>

Journal homepage: [www.WORLDNEUROSURGERY.org](http://www.WORLDNEUROSURGERY.org)

Available online: [www.sciencedirect.com](http://www.sciencedirect.com)

1878-8750/\$ - see front matter © 2017 Elsevier Inc. All rights reserved.

### **GRUPO III: VARIABLES PRONÓSTICAS EN EL PACIENTE CON LESION MEDULAR INCOMPLETA SECUNDARIA A TRAUMATISMO CERRADO (RESUMEN).**

#### **Características de la muestra**

86 pacientes reunieron los pertinentes criterios de inclusión y exclusión en el presente estudio. La tabla 4.9 muestra las características de los individuos analizados para este trabajo. La edad media fue de 48 años, con una proporción varón mujer de 4 a 1. El accidente de tráfico fue el mecanismo lesional más común y el nivel C5-C6 el más frecuentemente afectado.

Characteristic	Number of Patients
Mean age, years	47.6 (18–87)
Male sex	68
Female sex	18
Spinal Level SCI	
C3-C4	11
C4-C5	17
C5-C6	26
C6-C7	20
C7-T1	12
Mechanism of Injury	
Motor vehicle crash	48
Car	25
Motorcycle	13
Pedestrian	10
Fall	27
Sport (diving)	7
Aggression	4

**Tabla 4.9.** Características de la muestra de los pacientes con LMA (Grupo III).



### Función neurológica

La tabla 4.10 muestra la evolución y los cambios en la exploración entre la función neurológica al ingreso y al seguimiento al año. Sesenta y seis de los 86 pacientes incluidos (76.7%) experimentaron algún tipo de mejoría, y el 44 por ciento mostró una mejoría completa al seguimiento. Ninguno de los pacientes mostró un empeoramiento en la escala ASIA al seguimiento.

ASIA impairment scale					
Al ingreso		Al seguimiento			
Grado ASIA	A	B	C	D	E
B (n=12)		2	6	4	
C (n=29)			5	18	6
D (n=45)				13	32
TOTAL 86		2	11	35	38

**Tabla 4.10.** Examen neurológico según la escala ASIA al ingreso y al seguimiento

La exploración inicial mostró una correlación de buena a moderada con la exploración al seguimiento al año, de acuerdo a los valores correspondientes a los grados de la escala ASIA ( $\rho$  Spearman=0.617,  $p<0.001$ ).

### Tratamiento

Cuarenta y cinco pacientes (52%) fueron tratados quirúrgicamente o mediante reducción cerrada y 41 de ellos (48%) fueron manejados de forma conservadora. La modalidad o tipo de tratamiento (Quirúrgico VS conservador) no mostró asociación con mal pronóstico ( $p=0,2$ ). Dieciséis

pacientes presentaron luxación facetaria uni o bilateral. Quince de ellos fueron tratados inicialmente con reducción cerrada (12 pacientes) o abierta (tres pacientes). Un paciente con luxación facetaria rechazó cualquier tipo de intervención quirúrgica o de reducción y se manejó de forma conservadora. Los pacientes sin una reducción satisfactoria, fueron sometidos posteriormente a intervención quirúrgica y reducción abierta, siendo esta vez exitosa en todos los pacientes, excepto en dos de ellos. Todos los pacientes que fueron intervenidos quirúrgicamente para llevar a cabo una reducción abierta de forma satisfactoria fueron adicionalmente artrodesados (fijación interna), bien sea por vía anterior (tres casos), posterior (tres casos) o combinada (fijación circunferencial anterior y posterior, dos casos). En los dos pacientes en los que ni la reducción abierta, ni cerrada, presentaron resultados exitosos fueron sometidos a un procedimiento de laminectomía descompresiva en los segmentos más comprometidos y fijados posteriormente con placas y tornillos (artrodesis posterior). Treinta pacientes sin luxación facetaria fueron tratados mediante intervención quirúrgica: 19 de ellos fueron sometidos a un procedimiento de artrodesis anterior, 6 fueron tratados con artrodesis posterior, y 5 con un abordaje circunferencial (anterior más posterior).

#### Variables radiológicas. Análisis uni y multivariable de los factores pronósticos.

El análisis univariable de las variables cualitativas mostró que el edema mayor de 36 mm, la luxación facetaria uni o bilateral, la lesión del LCA y la lesión del LF eran variables estadísticamente significativas asociadas a una pobre recuperación neurológica. (Tabla 4.11).

FACTOR	RR OF A BAD OUTCOME	P VALUE
GENDER (female/male)	1.93 (0.61 - 6.04)	0,346
AGE (<65/>65)	0.46 (0.15 - 1.37)	0,225

LENGHT OF SPINAL CORD EDEMA (>36mm/<36mm)	5.00 (1.68 - 14.8)	0.006*
EXTRAMEDULLARY HEMATOMA (yes/no)	3.5 (0.46 - 26.61)	0,234
INTRAMEDULLARY HEMATOMA (yes/no)	2.19 (0.73 – 6.60)	0,225
ALL (injured/intact)	2.84 (1.01 – 7.83)	0,045*
PLL (Injured/intact)	1.43 (0.52 – 3.94)	0,487
LF (Injured/Intact)	3.33 (1.14 - 9.72)	0,023*
DISK (injured/intact)	0.83 (0.31 - 2.27)	0,721
LESION LEVEL (above C6/below C6)	1.07 (0.31 - 3.73)	> 0.9
VERTEBRAL BODY FRACTURE (yes/no)	2.81 (0.78 - 10.19)	0,139
LAMINAE FRACTURE (yes/no)	1.14 (0.38 - 3.41)	0.812
ARTICULAR FRACTURE (yes/no)	2.78 (0.97 - 7.96)	0.053
FACET DISLOCATION (yes/no)	4.83 (1.51 - 15.4)	0,009*
VERTEBRAL KYPHOSIS		0.233
TREATMENT (Surgery/Conservative)	1.96 (0.69 - 5.53)	0,202

**Tabla 4.11.** Factores predictores para mal pronóstico al seguimiento en pacientes con LMA incompleta y trauma cervical. Análisis univariable

Tras introducir las variables significativas en el análisis multivariable y ajustar por el ASIA inicial como potencial covariable, los resultados demostraron que el edema intramedular > 36 mm, la luxación (dislocación) facetaria y una pobre función neurológica inicial, determinada mediante la

escala ASIA, eran factores independientes asociados a mal pronóstico neurológico. La figura 4.12 muestra los riesgos relativos para cada una de las variables y el intervalo de confianza al 95%.

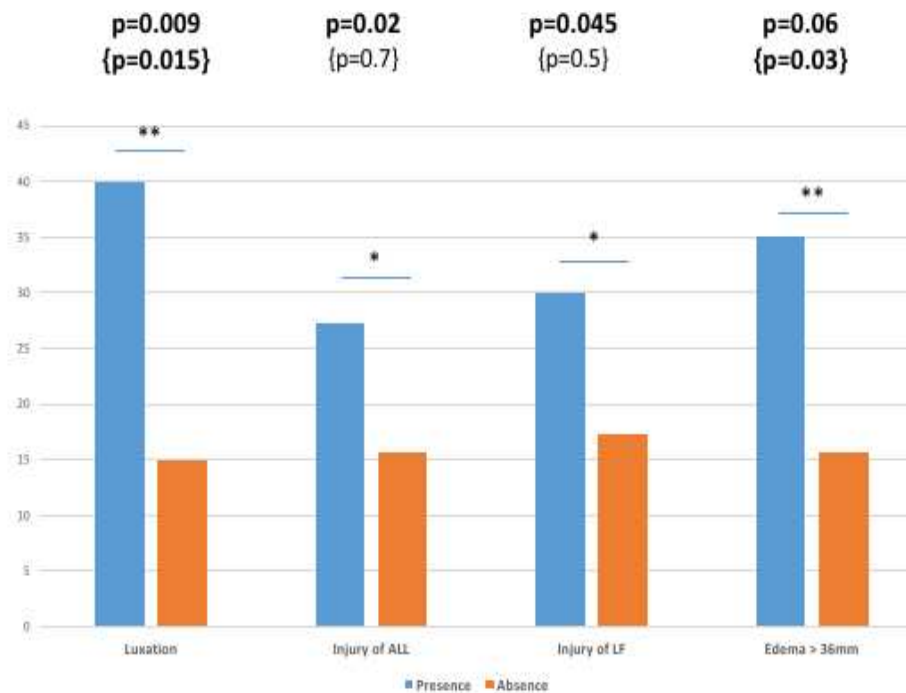
	$\beta$	Relative risk of a bad outcome (CI)	p Value
FACET DISLOCATION (yes/no)	-1.8	6.22 (1.43-26.9)	0.015**
LF	0.35	1.41 (0.21-9.32)	0.7
ALL	0.51	1.66 (0.41-6.78)	0.5
LENGHT OF SPINAL CORD EDEMA (>36mm/<36mm)	1.36	3.93 (1.08-14.31)	0.03**
ASIA at admission	1.29	3.7 (1.2-11.1)	0.02**

( $\beta = 1.37$ ; Goodness of fit, Chi-square = 4.18; d.f. = 1; p = 0.758)

\*\* significant for p<0.05

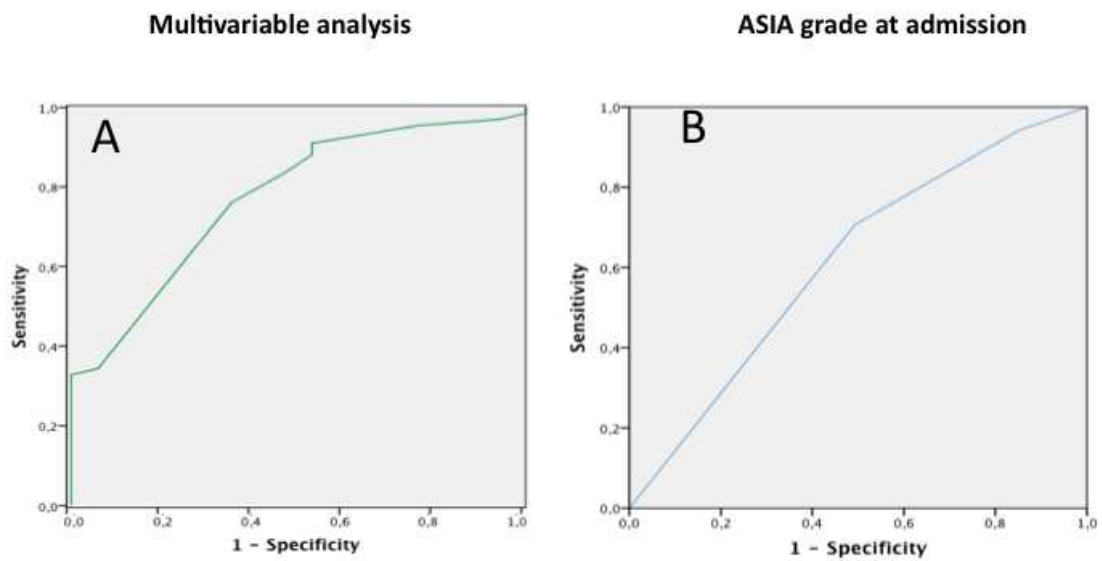
**Tabla 4.12.** Análisis multivariable (regresión logística) para factores que afectan el pronóstico al seguimiento al año.

La figura 4.2 muestra el porcentaje de pacientes que mostraron mejoría para la presencia o ausencia de cada una de las variables radiológicas que resultaron significativas.



**Figura 4.2.** Porcentaje de pacientes que presentaron mejoría para la presencia o ausencia de las variables radiológicas (luxación facetaria, lesión del LCA, lesión del LF y edema >36 milímetros). Para cada variable hay dos valores de p: el superior representa el valor de p en el análisis univariable, mientras que el número inferior, representa el valor de p en el análisis multivariable tras ajustar por las potenciales covariables. Se representa con sombreado en negrita los valores de P que resultaron significativos. (Leyenda. \*=significativo en el análisis univariable; \*\*=significativo en el análisis multivariable) Nivel de significación  $p < 0.05$ .

Las curvas ROC, presentadas en la figura 4.3, demuestran una capacidad discriminativa buena para el modelo del análisis multivariable basado en la TC y RM en las primeras 72 horas, superior al de la función neurológica al ingreso de acuerdo a la escala ASIA



**Figura 4.3.** Curvas ROC para determinar la capacidad discriminativa (mal pronóstico) para el modelo correspondiente al análisis multivariable (A) y para la función neurológica al ingreso (según la escala ASIA) (B). Área bajo la curva (AUC, del inglés area under the curve). AUC (A. Análisis multivariable)=0,776; AUC (B. ASIA al ingreso)=0,613.  $p=0,001$ .



# V.DISCUSIÓN





## DISCUSIÓN

La capacidad para predecir la recuperación neurológica es de suma importancia para poder ofrecer al paciente el mejor tratamiento posible y una guía sobre las expectativas reales ante una LMA secundaria a un traumatismo cervical<sup>165</sup>.

La función neurológica inicial es el factor más determinante y robusto para determinar el pronóstico a largo plazo de los pacientes que sufren LMA cervical traumática<sup>9, 166</sup>. No obstante, la exploración neurológica inicial como método para determinar el pronóstico tiene ciertas limitaciones<sup>8</sup>. Primero, se trata de un examen no exento de cierta subjetividad. Segundo, durante la fase aguda del trauma, se dan una serie de circunstancias que pueden determinar que la exploración neurológica por sí sola no sea un método fiable como para predecir el pronóstico con relativa exactitud. La coexistencia de sedación, analgesia, dolor distractor, alteraciones neurológicas o del nivel de conciencia producida por lesiones coexistentes, tales como el TCE severo, en los pacientes más inestables, actúan en detrimento de una evaluación pronóstica certera. Estas deficiencias son especialmente patentes en las primeras 72 horas tras el traumatismo<sup>8</sup>.

Para resolver las deficiencias de la exploración neurológica como método predictivo es necesario determinar con precisión la utilidad de las pruebas complementarias. Esta tesis doctoral centra sus esfuerzos en determinar la capacidad predictiva de las pruebas radiológicas y particularmente, de la RM en la fase aguda de la LMA cervical traumática.

En los últimos 15 años se ha incrementado considerablemente el número de trabajos destinados al estudio de los factores pronósticos radiológicos asociados al traumatismo cervical, si bien la mayoría carecen de un riguroso análisis estadístico y son escasos aquellos estudios donde la función neurológica es considerada como una potencial covariable. Además, el valor de algunas variables radiológicas, como la disrupción de estructuras de soporte, no ha sido analizado con la suficiente profundidad.

En el primer trabajo de esta tesis queda determinado la utilidad pronóstica de visualizar la rotura de estructuras ligamentarias, tales como el ligamento amarillo (LF), al encontrarse directamente asociada con el tamaño de lesión medular<sup>167</sup>. El valor de estas variables queda confirmado en el subgrupo de pacientes con SCIWOCTET -2º trabajo-<sup>168</sup>, así como en los pacientes que presentan lesiones medulares incompletas -3er trabajo. Al igual que en estudios previos<sup>9,52,155-157,169,170</sup>, la longitud de lesión también demostró ser un factor pronóstico. En la tercera parte de la tesis se añaden puntos de corte determinantes para algunas variables cuantitativas a partir de las cuales se establece un mal pronóstico y se analiza la capacidad predictiva de las estructuras extramedulares de soporte anteriormente citadas, tales como los ligamentos vertebrales. Así, nuestros resultados muestran que el edema mayor de 36 mm, la dislocación facetaria y la lesión ligamentaria, fundamentalmente del ligamento amarillo y el ligamento común anterior, son los factores pronósticos radiológicos más importantes. Por último, tras aplicar el análisis multivariante en el último de nuestros trabajos pudimos concluir que el edema >36 mm y la luxación facetaria eran variables pronósticas independientes de la exploración neurológica inicial, consiguiendo un modelo que permite explicar la evolución neurológica de los pacientes que sufrían una lesión medular cervical postraumática y de este modo, suplir las carencias que la exploración clínica inicial por sí sola podía tener en las primeras 72 horas del trauma. De este modo, se resalta el valor de la RM cervical precoz como herramienta pronóstica y en el manejo del traumatismo cervical.

## **1. Valor pronóstico de la lesión de los ligamentos vertebrales y afectación de tejidos blandos (grupo I)**

Este primer trabajo demuestra que la presencia de la lesión de ligamentos cervicales detectados en la RM está asociada con mayores longitudes de lesión intramedular. En concreto, la lesión del ligamento amarillo es un factor de riesgo independiente para presentar lesiones de un mayor tamaño.

En el momento del impacto inicial se produce el llamado daño medular primario, el cual, a su vez, da origen a una cascada enzimática que condiciona unos cambios estructurales y funcionales. Al conjunto de estos mecanismos finales se les conoce como daño medular secundario. Tanto el daño medular primario como el secundario son responsables de los cambios producidos a nivel celular que se traducen en cambios de señal en la RM provocados por el edema y el depósito de hemosiderina<sup>117</sup>.

Es un hecho bastante aceptado que la longitud del edema (o lesión), medida en RM como un aumento de señal en cortes sagitales en T2<sup>9, 157</sup>, es una variable estrechamente relacionada con el pronóstico neurológico<sup>9, 157, 160, 164</sup>. Puesto que, además, se trata de una variable cuantitativa continua, la longitud de la lesión puede interpretarse como una medida indirecta del grado de lesión medular y, de este modo, utilizarla como variable dependiente en nuestro estudio.

Por otro lado, la longitud de la lesión tiene un carácter dinámico, lo que condiciona que el momento de la adquisición de las imágenes sea determinante y su capacidad predictiva se sobrevalore si la RM se realiza en una fase más tardía<sup>114, 159</sup>. Leypold y colaboradores<sup>114</sup> determinaron que cada 1,2 días se produce un aumento de la progresión del edema en un cuerpo vertebral. Es por ello que la

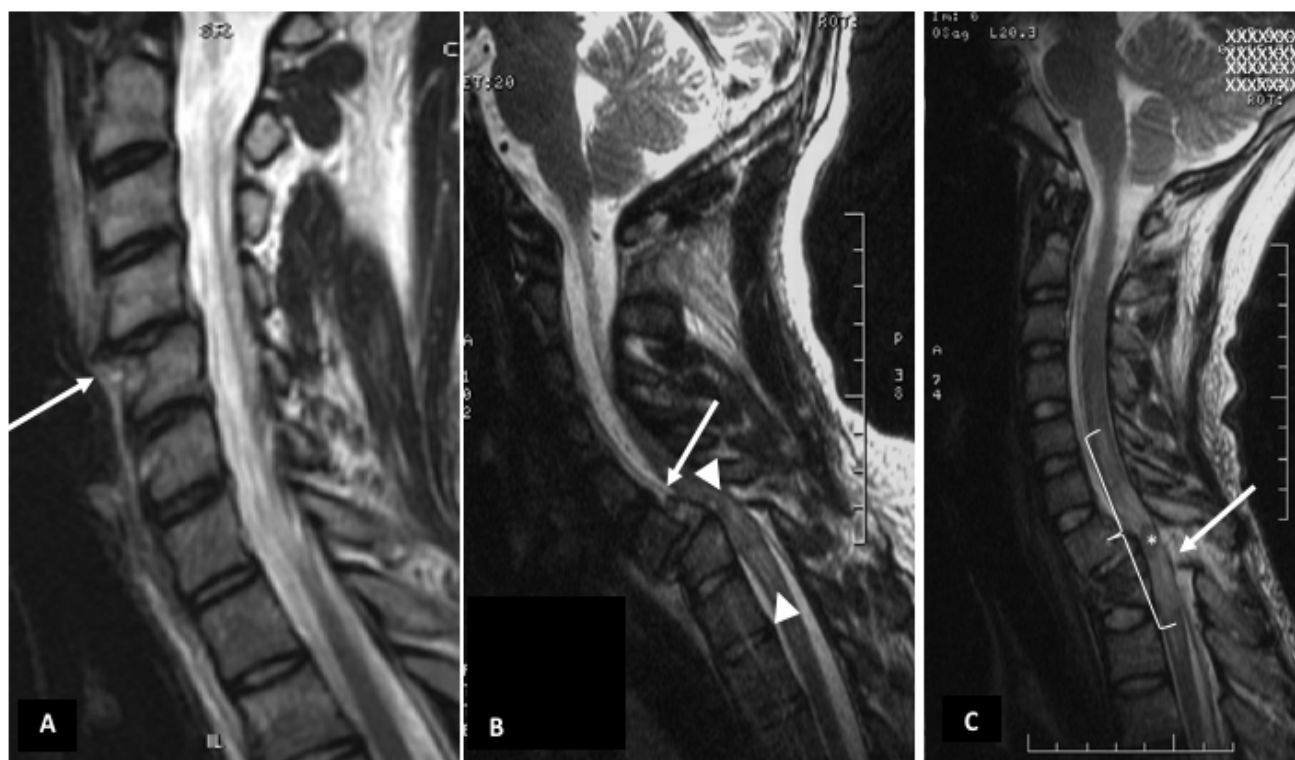
mayoría de autores recomiendan que la realización de la RM cervical con fines predictivos debe realizarse en las primeras 48-72 horas después del trauma<sup>8, 117</sup>. De acuerdo a todo ello, ante los casos donde la RM se realiza en una fase más tardía surge la necesidad de utilizar otros hallazgos radiológicos, más perdurables a lo largo del tiempo. Así, en esta parte de nuestro estudio se buscó analizar el valor que tenía la detección de la lesión de tejidos blandos (LCA, LCP, LF y disco intervertebral) en RM para predecir la gravedad de la LMA, al considerar estos hallazgos más estables.

Previo a la publicación de nuestro estudio, sólo existe un trabajo que determina la asociación entre la gravedad de la lesión ligamentosa y el grado de lesión medular: Song<sup>153</sup> destaca la importancia de la lesión del LCP, por su asociación con lesiones medulares más graves, especialmente en pacientes con lesiones producidas por un mecanismo de hiperextensión. Los resultados de nuestro análisis multivariable muestran que la disrupción del ligamento amarillo es la que muestra una asociación más fuerte con la extensión de la lesión. Proponemos dos teorías para explicar tal hallazgo, aunque lo más razonable sea considerar una combinación de ambas. La lesión del ligamento amarillo está más relacionada con la alteración estructural de elementos posteriores<sup>171, 172</sup>, la cual ha demostrado asociarse con un mayor grado de inestabilidad<sup>10</sup>, y por tanto, puede ser la responsable de lesiones medulares más graves<sup>153</sup>. Por otro lado, el LF posee mayor cantidad de fibras elásticas que el resto de ligamentos cervicales, siendo preciso una mayor fuerza para que sufra una rotura. Este aumento de fuerza aplicado directamente sobre la médula espinal asociado a la inestabilidad secundaria a la rotura de una importante estructura de soporte permite el desarrollo de lesiones más severas.

La RM cervical ha demostrado ser una herramienta útil en los casos donde la estabilidad estructural es cuestionable, puesto que tiene una capacidad excelente para detectar lesiones ligamentosas<sup>173, 174</sup>, a pesar de que algunos autores han reportado una especificidad baja con respecto a los hallazgos intraoperatorios<sup>138, 139</sup>. La secuencia en T2 ha sido la más ampliamente utilizada en

estudios previos, aunque nuevas secuencias de supresión grasa (STIR) han demostrado ser superiores en cuanto a sensibilidad y especificidad<sup>113, 175</sup>.

En base a nuestra experiencia y resultados, creemos que los cortes sagitales para las secuencias T2 y STIR deben estar incluidas en el protocolo de estudio de los pacientes con trauma cervical con el objeto de poder diagnosticar lesiones ligamentosas que, a su vez, serán útiles para obtener información pronóstica y para determinar el manejo terapéutico en respuesta a criterios de inestabilidad. La información pronóstica obtenida a raíz de la determinación de la rotura de ciertos ligamentos cervicales podrá ser utilizada cuando la resonancia se adquiere en una fase más tardía, al tratarse de hallazgos más estables, al contrario de lo que ocurre con la longitud del edema, donde los hallazgos tienen un carácter dinámico y dependen del momento de la adquisición de la RM.



**Figura 5.1.** Disrupción ligamentaria. A. RM cervical secuencia T2, proyección sagital. En el borde anterior del cuerpo vertebral de C4 se aprecia disrupción del ligamento común anterior. B. RM cervical, corte sagital, secuencia T2. Fractura cervical por mecanismo de flexión-compresión (\*), lo que provocó el desarrollo de una lesión (edema) intramedular de 16 milímetros (cabezas de flecha), asociado a lesión del ligamento común posterior (flecha). C. RM cervical, corte sagital, secuencia T2. Lesión de los ligamentos interespinoso y amarillo a nivel C7-T1. A nivel intramedular, edema de 32 mm, visualizado como un aumento de señal, asociado a una hipointensidad central (hematoma intramedular-contusión)

## **2. Variables pronósticas en la RM cervical precoz en los pacientes con lesión medular aguda traumática sin evidencia tomográfica de traumatismo (SCIWOCTET) (grupo II)**

La lesión medular aguda traumática sin evidencia tomográfica de traumatismo, también conocida como SCIWOCTET, es un subtipo de lesión medular inicialmente descrita en niños y provocada fundamentalmente por la desproporción entre el volumen cefálico y la columna axial y facilitado por la laxitud de los ligamentos cervicales<sup>51</sup>. Algunos artículos más recientes sugieren que esta entidad también puede ocurrir en adultos<sup>53</sup>. Ha sido ésta una entidad poco estudiada, especialmente si consideramos trabajos que incluyan un número de pacientes suficientes como para permitir hacer un análisis estadístico y extraer conclusiones a partir de los hallazgos de la RM<sup>18, 52, 53, 56, 58, 176-187</sup> (Tabla 4.3) De 17 series clínicas publicadas previamente a la publicación de nuestro segundo trabajo, únicamente 3 estudios<sup>52, 58, 177</sup> (con 171 pacientes incluidos en total) han llevado a cabo un análisis estadístico inferencial correlacionando la función neurológica con los hallazgos radiológicos procedentes de la RM. Sólo dos de ellos recogen datos clínicos en el seguimiento superior a 6 meses<sup>58, 177</sup>, que es la práctica que se recomienda actualmente para los estudios pronósticos en la LMA<sup>8, 113</sup>.



Primer autor	Año	Tipo de estudio	N	Varones	Mujeres	Edad media	Qx	Conservador	Correlación estadística	Seguimiento
Hayashi	1995	NR	31	24	17	54,5	14	17	-	-
Shimada	1995	NR	23	22	1	62	NR	NR	-	-
Saruhasi	1998	NR	33	25	8	56	21	12	-	+
Gupta	1999	NR	15	8	7	39	9	6	-	-
Bhatoe	2000	Retrospectivo	17	16	1	NR	0	17	-	-
Koyanagi	2000	Retrospectivo	42	35	7	59	37	5	-	-
Tewari	2005	Retrospectivo	40	30	12	42	NR	NR	-	-
Kato	2008	Retrospectivo	127	98	29	60	NR	NR	-	-
Okada	2009	Retrospectivo	129	110	19	61	0	129	-	+
Guo	2010	NR	203	179	24	NR	NR	NR	-	-
Lamothe	2011	Prospectivo	20	15	5	62	12	8	-	+
Machino	2011	Prospectivo	100	79	21	55	100	0	+	+
Cheng	2012	Retrospectivo	70	52	18	58	70	0	-	+
Como	2012	Retrospectivo	24	17	7	61	NR	NR	-	-
Nenisdal	2012	Retrospectivo	24	22	2	29	NR	NR	-	-
Mohanty	2013	Prospectivo	45	36	7	41	0	45	+	+
Boese	2016	Retrospectivo	26	17	9	52	7	19	+	-
Martínez-Pérez	2017	Retrospectivo	48	29	9	54	14	34	+	+

**Tabla 5.1** Revisión bibliográfica de publicaciones con estudio de RM en pacientes con SCIWOCTET. Leyenda: N=Número de pacientes incluidos en el estudio; Qx=Número de pacientes que se sometieron a tratamiento quirúrgico; NR=No Reportado. Correlación estadística = Análisis estadístico y correlación entre variables clínicas y radiológicas a partir de métodos inferenciales; Seguimiento=seguimiento clínico superior a 6 meses

A lo largo de estos estudios se han descrito varios hallazgos en la RM que podrían constituir valiosos indicadores pronósticos en los pacientes con SCIWOCTET. Sin embargo, esta hipótesis no ha quedado demostrada de forma convincente por la escasez de publicaciones con análisis estadísticos bien diseñados.

Los pacientes con peor clínica al ingreso (ASIA A y B) presentaban lesiones intramedulares (edema y hemorragia) y lesiones ligamentosas con mayor frecuencia que los pacientes con mejor función neurológica (ASIA C y D). En nuestra serie, todos los pacientes, excepto 4, presentaron edema intramedular, a pesar de que su ausencia no constituía un criterio de exclusión. Adicionalmente, en todos los casos se observó algún tipo de alteración intra o extramedular en la RM. Por el contrario, en la serie de Bose hasta en un 12 por ciento de los pacientes no se objetivó alteración alguna en la RM

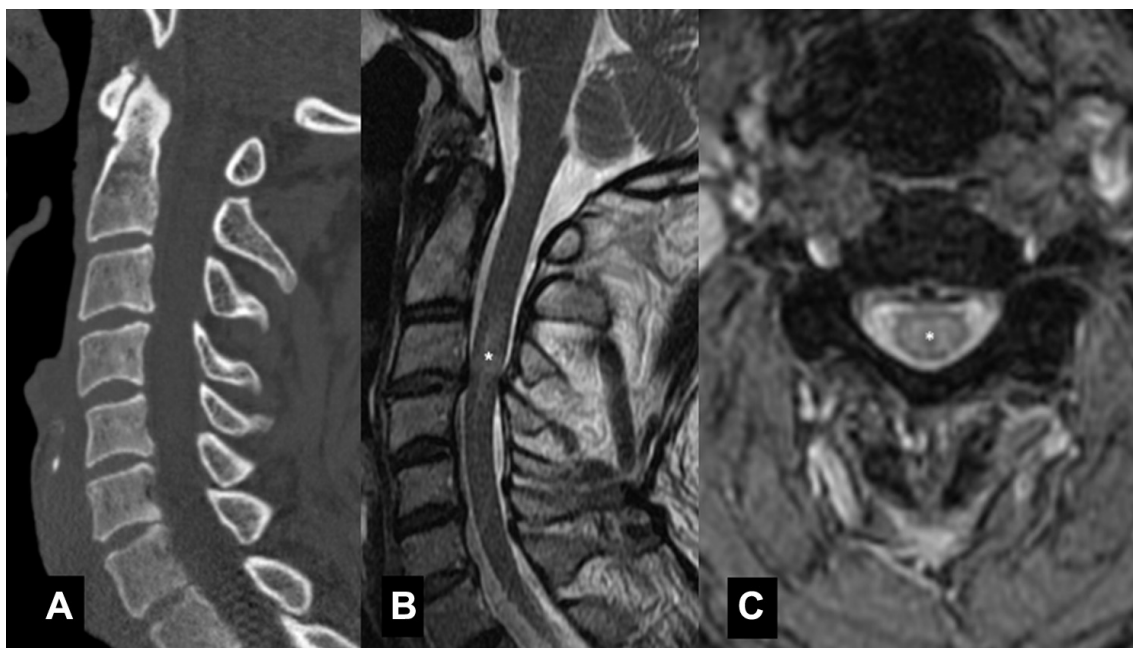
cervical<sup>52</sup>. Esta diferencia en la homogeneidad de ambas series puede deberse a que en nuestro estudio no se incluyeron los pacientes con una duración de los síntomas inferior a 48 horas, a fin de excluir los pacientes que realmente no tenían una lesión medular establecida, y cuya clínica algunos autores han agrupado bajo el diagnóstico de “conmoción espinal”<sup>186</sup>.

El grado de lesión neurológica inicial no mostró asociación estadísticamente significativa con la capacidad de recuperación neurológica. Estos resultados pueden ser sorprendentes si consideramos que la función neurológica inicial es uno de los factores pronósticos más importantes en el total de los pacientes con LMA cervical traumática<sup>9</sup>. Nuestra hipótesis para responder a tal hallazgo está enfocada a la homogeneidad de la muestra. Los pacientes con SCIWOCTET presentan un pronóstico y un cuadro clínico generalmente más benigno que aquellos pacientes que presentan fracturas y dislocaciones. En nuestra serie, únicamente se recogieron dos pacientes con una LMA completa (ASIA A), mientras que el resto presentaban lesiones incompletas. También es probable que la falta de significación se deba, en parte, al número de pacientes seleccionados y que un estudio más amplio pudiese arrojar resultados diferentes. Tras el análisis de la literatura de las series de casos que incluyen pacientes con SCIWOCTET y RM (tabla 4.3), no hemos encontrado ningún artículo que demuestre estadísticamente y de forma fehaciente la asociación entre la función neurológica inicial y la capacidad de mejoría, aunque esto es debido en parte a la falta de estudios que incluyen un seguimiento prolongado de sus pacientes.

El hallazgo en la RM de lesión de los ligamentos cervicales, especialmente del LF y del LCA, así como la presencia de lesiones de mayor longitud mostraron ser variables asociadas con mal pronóstico y mala recuperación neurológica. Algunos trabajos publicados anteriormente han declarado a la longitud de la lesión como el factor radiológico de mayor relevancia para predecir la evolución neurológica y recuperación<sup>53,56</sup> (Figura 4.3). Sin embargo, el SCIWOCTET está considerado como

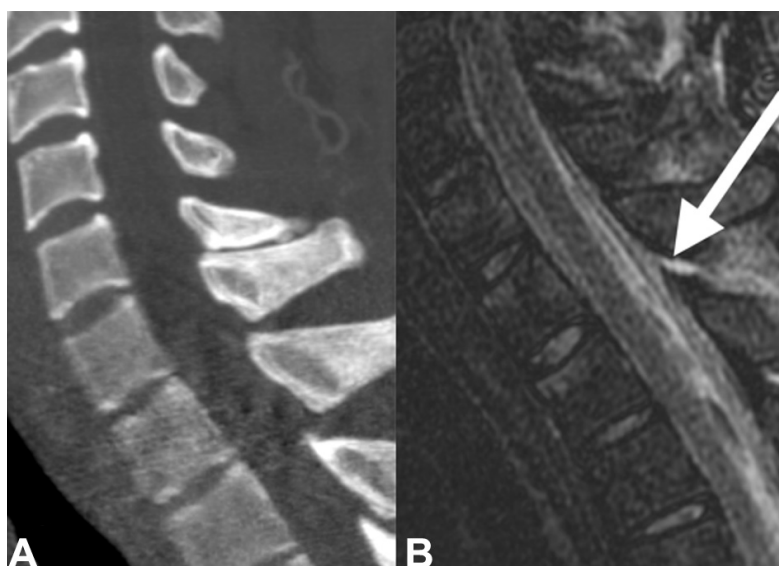
una entidad, relativamente benigna y, por consiguiente, la importancia de la longitud de la lesión es controvertida<sup>53, 54</sup>. De hecho, algunas de las más recientes publicaciones cuestionan la verdadera utilidad de la RM en fase precoz para los pacientes con SCIWOCTET<sup>57</sup>. Nuestros resultados, más acordes con los de Machino y colaboradores<sup>177</sup>, demuestran que los pacientes con lesiones (edema) intramedulares de mayor longitud tienen mayores probabilidades de presentar un pronóstico desfavorable.

La recuperación neurológica en los pacientes con SCIWOCTET ha sido reportada previamente y atribuida a la regresión del edema intramedular<sup>159, 188, 189</sup>, lo cual refuerza nuestra hipótesis de que la longitud de la lesión puede predecir la capacidad de recuperación (Figura 4.3).



**Figura 5.2.** Paciente n° 48 se presenta con síndrome centromedular. (A) Tomografía computarizada muestra pequeños cambios degenerativos y osteofitos en la columna cervical, pero sin evidencia de fractura o luxación. La RM cervical (B y C) muestra cambios de señal (hiperintensidad), que representa edema intramedular (\*) asociado a la presencia de una pequeña hernia discal cervical (B). En los cortes axiales (C) se muestra la localización central de la lesión, lo que demuestra la buena correlación con la presentación clínica.

La rotura de ciertas estructuras ligamentarias también han demostrado estar asociadas con el pronóstico en nuestro estudio (Figura 4.4). Por un lado, el ligamento común anterior es un componente esencial de la columna anterior (modelo de Denis<sup>6</sup>). Cuando se lesiona da lugar a un componente de inestabilidad, partícipe del progreso del daño medular y de este modo, de un peor pronóstico. El ligamento amarillo ya demostró su correlación con la longitud de la lesión en nuestra serie anterior<sup>167</sup>. Con el presente, ahora también asegura que es una variable que se asocia a la mejoría neurológica en la evolución al año en el subgrupo de pacientes que padecen SCIWOCTET. El abultamiento (figura 4.3.B), pero no la rotura, ha sido propuesto como mecanismo facilitador para la aparición de clínica medular en pacientes sin otras alteraciones evidentes en el TC, al condicionar un estrechamiento del canal medular<sup>177, 188</sup>. El abultamiento del ligamento amarillo no fue una variable analizada de manera concreta en nuestro trabajo, pero sí que utilizamos el compromiso máximo de canal (CMC) como un medidor del compromiso de canal medido en corte sagital y medio en secuencias T2, tal como dictaminaba Rao y Fehlings<sup>190</sup>. Al contrario que en publicaciones anteriores<sup>9, 191</sup>, no encontramos relación entre el CMC y el pronóstico neurológico. Esta diferencia en los resultados observados puede deberse a que nuestra población sólo incluye pacientes sin alteraciones óseas o desplazamientos, donde el cambio en el compromiso de canal es menos evidente, y por tanto, podría precisar de un mayor número de pacientes para encontrar una diferencia sustancial en el pronóstico.



**Figura 5.3.** Paciente nº 13. La TC cervical (A) no muestra alteraciones evidentes, aunque posteriormente, en la RM (B) se identificó una lesión oculta del ligamento amarillo.

Boese y colaboradores<sup>52</sup> describieron un nuevo sistema de clasificación para los pacientes con SCIWOCTET. De este modo, distinguen entre pacientes sin alteraciones en la RM (grupo I) y pacientes con alteraciones en la RM (grupo II). Dentro del grupo II, dependiendo si las alteraciones se encuentran a nivel medular, extramedular o en ambos se clasifican en subgrupos de la “a” a la “c” (IIa, IIb, IIc). No obstante, aunque este método de clasificación ha demostrado asociación estadística con los pacientes analizados en la serie de Boese, la validez externa no ha quedado completamente demostrada. Del mismo modo, existen grupos con un bajo número de individuos incluidos, como es el caso del grupo I (sin alteraciones en la RM), en el que la verdadera existencia de un síndrome SCIWOCTET es dudosa, puesto que en muchos casos los hallazgos clínicos duran menos de 48 horas, y algunos autores han preferido denominar “conmoción medular” para diferenciar de aquellos enfermos con una verdadera lesión medular. Queda, por tanto, un amplio grupo (II) donde se incluyen el resto de individuos y en el que la diferenciación entre cada uno de ellos es vaga y no pondera el verdadero valor de las variables pronósticas más relevantes.

En nuestra experiencia, preferimos describir los hallazgos radiológicos, especialmente el tamaño de la hiperintensidad medular en T2 y la lesión ligamentosa, puesto que su valor pronóstico ha quedado demostrado en los resultados del presente estudio. Además, no creemos que deba ser separado del resto de LMA traumática cervical, sino un subgrupo dentro de la misma, con unos factores pronósticos radiológicos, alguno de los cuales son compartidos con el resto de pacientes. Si pensamos, en cambio, que los futuros estudios deberían ir destinados a la validación de nuevas escalas pronósticas que incluyan variables clínicas y radiológicas, y que sean también aplicables a los pacientes con SCIWOCTET.

Los TC de nueva generación, interpretados por radiólogos experimentados, han demostrado una mejor identificación de lesiones que podrían pasar desapercibidas en el pasado, y por tanto, cabría la posibilidad de plantearse la verdadera utilidad de la RM<sup>192, 193</sup>. Sin embargo, la identificación de ligamentos lesionados es todavía un problema en la TC, donde la RM sigue siendo de elección<sup>194</sup>. Dado la potencial existencia de lesiones ocultas que pueden pasar desapercibidas en la TC, así como por las capacidades pronósticas de la propia técnica radiológica, estamos de acuerdo con Boese y colaboradores<sup>54</sup>, y creemos que la RM precoz está indicada, especialmente cuando no existe concordancia entre los primeros hallazgos radiológicos y la clínica.

### **3. Factores pronósticos en los pacientes con LMA incompleta (grupo III)**

En este último trabajo se realizó un estudio para determinar los factores pronósticos de la LMA cervical traumática. Nuestros resultados demuestran que, además de la función neurológica inicial, la presencia de luxación facetaria uni o bilateral, el edema medular mayor de 36 milímetros, y la rotura de los ligamentos amarillo (LF) y común anterior (LCA) en la RM precoz son factores asociados con mal pronóstico o falta de recuperación neurológica al seguimiento en los pacientes con lesión medular incompleta cervical secundaria a traumatismo cerrado.

#### **3.1. Función neurológica**

En nuestro grupo de pacientes, la función neurológica inicial se correlacionaba de manera significativa con la función neurológica (examinada mediante la escala ASIA) al año de seguimiento. En efecto, el grado de disfunción neurológica ha sido considerado históricamente como el factor más importante para predecir la futura evolución neurológica<sup>166</sup>. En un estudio retrospectivo anterior sólo un 6% de los pacientes con LMA completa han experimentado algún tipo de mejoría<sup>195</sup>. Los pacientes con LMA incompletas han demostrado tener mayor probabilidad de evolucionar hacia un mejor pronóstico<sup>9, 195</sup>. En otro trabajo, únicamente un 2 por ciento de los pacientes con un ASIA A inicial progresaron hacia una lesión incompleta ASIA D, mientras que en el caso de los pacientes que se presentaron con ASIA C mejoraron hasta en un 70%<sup>144, 145</sup>. A fin de homogeneizar la muestra, focalizamos nuestro estudio en los pacientes con LMA incompletas, puesto que son aquellos que tienen mayor probabilidad de obtener mejoría neurológica.

En el trauma cervical ocurre un fenómeno inherente al propio sistema de gradación de la lesión medular, que puede interferir en la interpretación de los datos si no se identifica. El denominado “efecto techo” (del inglés *ceiling effect*) explica que los pacientes con mejor función neurológica inicial presentan mayores tasas de mejoría, pero que a medida que la disfunción neurológica se va haciendo menor y los déficits son mínimos, la capacidad de mejoría disminuye puesto que el rango en el que pueden mejorar también es menor<sup>166</sup>. Así, en los mismos estudios referenciados anteriormente, únicamente un 4% de los pacientes con un ASIA D inicial mostraron una mejoría a ASIA E al año de seguimiento<sup>144, 145</sup>. Dadas estas observaciones, para determinar la influencia de la exploración neurológica en nuestro análisis, realizamos una correlación numérica entre el ASIA inicial y al seguimiento, otorgándole un valor cuantitativo y progresivo de mayor a menor gravedad: ASIA B=0 puntos, ASIA C=1 punto y así, sucesivamente.

Entre las otras variables clínicas que se consideraron como potenciales factores pronósticos, también se analizó el efecto del nivel de la lesión. El nivel de lesión está reportado como un factor determinante para el grado de funcionalidad a largo plazo, aunque el impacto sobre la capacidad para la recuperación neurológica es más dudoso<sup>146</sup>. Nuestro análisis no demuestra ninguna asociación entre el nivel de lesión y la capacidad de recuperación. Algunos trabajos sí han mostrado un potencial mayor para la recuperación en pacientes con lesión medular a nivel cervical, en comparación con los lesionados medulares a nivel torácico<sup>144, 196</sup>, pero parece que tales diferencias no son tan fácilmente evidenciables cuando se consideran segmentos medulares más pequeños (por ejemplo, dentro de la misma columna cervical).



### 3.2.Tratamiento quirúrgico vs manejo conservador

Determinar la eficiencia del tipo de tratamiento (conservador vs quirúrgico y abordaje anterior vs abordaje posterior) estaba fuera de los objetivos de esta tesis. Al tratarse de un estudio observacional no pudimos randomizar el tipo de tratamiento, y la indicación de manejo fue tomada por el cirujano responsable de cada paciente de acuerdo a su interpretación de los paradigmas de tratamiento actualmente vigentes y tras el consentimiento informado del paciente y la familia.

### 3.3.VARIABLES radiológicas

Nuestros resultados muestran que los hallazgos en RM de un edema intramedular superior a 36 milímetros, la lesión (rotura) del ligamento común anterior y la lesión del ligamento amarillo están asociados significativamente con la ausencia de mejoría neurológica al seguimiento en el análisis univariable. Por otro lado, la presencia de luxación facetaria uni o bilateral en la TC demostró ser un factor de mal pronóstico para la recuperación neurológica.

La mayoría de estudios previos que estudian el papel pronóstico de la RM sostienen la idea de que la presencia de edema, hemorragia o cualquier otro cambio de señal intramedular en la LMA eran los hallazgos radiológicos más útiles para predecir el mal pronóstico en el traumatismo medular<sup>9, 115-117, 152, 154, 155, 157, 197</sup>. No obstante, hasta la publicación de nuestro primer trabajo de esta tesis<sup>167</sup>, el papel pronóstico de la lesión de los tejidos blandos vistos en RM no ha quedado esclarecido. La RM, en cambio, se ha erigido como una herramienta poderosa en la detección de la lesión de los ligamentos cervicales, lo que la hace especialmente útil en los casos donde se cuestiona la estabilidad espinal o cuando la clínica no se corresponde con los hallazgos en la TC<sup>197</sup>. Existen varios trabajos que demuestran la importancia de los ligamentos cervicales en la estabilidad espinal<sup>198</sup>. Sin embargo, hay pocos trabajos que expliquen la relación entre el pronóstico neurológico y la lesión de estas

estructuras<sup>116,153</sup>. Nuestros resultados prueban, sobre una base científica, que la disrupción ligamentosa está íntimamente relacionada con un peor pronóstico. En concreto, los pacientes con lesión del ligamento amarillo o lesión del ligamento común anterior presentan un riesgo 3 veces superior de tener un mal pronóstico.

Varios autores han demostrado que la longitud de los cambios de señal en secuencias T2 en cortes sagital y medio están relacionados con el pronóstico neurológico<sup>155</sup>. En otro trabajo, Miyanji y colaboradores<sup>9</sup> observaron que la hemorragia intramedular y mayores longitudes de lesión eran factores independientes asociados a la lesión medular completa. En el presente trabajo, hemos obtenido resultados similares a este respecto y el edema superior a 36 milímetros demostró ser un factor fuertemente asociado con la ausencia de mejoría neurológica al seguimiento. Esto quiere decir, al contrario de lo que se creía anteriormente, que pequeñas lesiones o longitudes de edema no tienen un importante peso predictivo y que incluso pueden presentarse en pacientes con buena evolución neurológica. Conforme va aumentando la longitud de dicho edema, las probabilidades de un pronóstico neurológico pobre aumentan y es en el punto de corte de 36 milímetros, calculado mediante el índice de Youden, cuando el riesgo para presentar un mal pronóstico pasa a ser 4 veces superior.

Otra consecuencia de nuestro estudio versa sobre la discusión abierta acerca del uso de corticoesteroides (CCEs) en la LMA traumática. Fisiopatológicamente, el beneficio que pueden ejercer los CCEs en el trauma cervical está fundamentado en los efectos causados sobre la inflamación y el edema. De hecho, existe actualmente cierto grado de controversia en el uso de metilprednisolona en la LMA a raíz de los estudios NASCIS y los metátesis posteriores. El análisis por subgrupos del estudio NASCIS II<sup>62</sup> mostró que el uso de metilprednisolona en la fase aguda del trauma medular podría ejercer algún efecto beneficioso si la infusión se iniciaba en las primeras 8 horas después de la agresión. Por otro lado, estudios más recientes abogan en contra del uso de CCEs para la LMA traumática, debido a

los efectos colaterales derivados de su uso, como el aumento de la tasa de infecciones<sup>31</sup>. A pesar de algunas limitaciones y de que ninguno de los pacientes incluidos en nuestro estudio fue tratado con CCEs, este artículo puede añadir alguna evidencia que apoye el manejo de estos pacientes con CCEs en la fase aguda del trauma cervical, con objeto de disminuir, en la medida de lo posible, el daño medular secundario y la progresión del edema. Del mismo modo, somos conscientes que nuestras conclusiones deben ser analizadas cuidadosamente, puesto que nuestro trabajo ha sido diseñado con un objetivo completamente diferente, y no existe población control que permita la comparación entre grupos de pacientes tratados con y sin CCEs. No obstante, desde el punto de vista científico, creemos que no se debería abandonar el estudio del verdadero efecto de los CCEs en el trauma y lesión medular, y sí que merecería la pena permanecer en el reto de estudiar su efecto a largo plazo en grandes poblaciones de pacientes, teniendo en cuenta también las variables que indicamos en nuestro trabajo, al poder ser identificadas como medidas indirectas del daño medular<sup>167</sup>.

Para nuestra sorpresa, en contraposición a la mayoría de estudios previos<sup>9, 53</sup>, la presencia de hemorragia intramedular no mostró asociación significativa con el pronóstico en nuestra serie. Esta discrepancia en los resultados puede deberse a que se emplearon técnicas con mayor sensibilidad para detectar la presencia de hematoma, tales como las secuencias ECHO de gradiente, lo cual permitía detectar cantidades mínimas de hemosiderina. De forma similar a como ocurre con la longitud del edema, puede que la extensión del hematoma intramedular, más que la variable dicotómica de presencia o ausencia de hematoma, sea el factor determinante del pronóstico. En nuestro estudio no se realizó un análisis de la extensión del hematoma, pero en futuros estudios sería interesante determinar, cual es el punto de corte a partir del cual los pacientes presentan un pronóstico más pobre.

Respecto a las variables radiológicas dependientes de la TC, únicamente la luxación facetaria resultó ser un factor predictor independiente de la ausencia de recuperación neurológica. La luxación

facetaria se ha asociado con la severidad de la LMA en múltiples estudios<sup>198-200</sup>. Tal como se adelantó en la introducción de esta tesis, el tratamiento corresponde a la reducción de la luxación a fin de restablecer lo antes posible la arquitectura normal de la columna y disminuir la progresión del daño medular secundario. Nuestra hipótesis para responder al hecho de que la luxación facetaria está asociada al mal pronóstico neurológico es que, para que tenga lugar una luxación facetaria, es necesario un impacto de alta energía que suele producir graves daños medulares (daño medular primario). Esta fuerza del impacto, desencadenará la cascada enzimática responsable del daño medular secundario incluso antes de que tenga lugar la recomposición anatómica, cuando la cirugía temprana se realice. Además de los beneficios que aporta la RM precoz desde el punto de vista predictivo tal como demostramos en este trabajo, existe un elevado número de autores que recomiendan el uso de la RM previo a la reducción de la luxación facetaria, especialmente si el paciente no está consciente<sup>75</sup>. No obstante, todavía no existen guías que recomienden a favor en contra de su uso en estos casos especiales<sup>201</sup>.

La función neurológica inicial está considerada como el factor pronóstico más importante en la LMA traumática<sup>9, 166</sup>. No obstante, la exploración neurológica en la fase aguda del trauma medular es a menudo dificultosa y subjetiva, a lo cual se añaden otros factores de confusión que tienen lugar en las fases iniciales del trauma (TCE asociado, sedación, cooperación...). Todo ello puede determinar que el examen clínico por sí sólo no sea suficiente para establecer un pronóstico certero, especialmente si la exploración se realiza en las primeras 72 a 96 horas. Es en este mismo período de tiempo cuando la RM ha demostrado tener una mayor utilidad<sup>8</sup>. Como contrapartida, es en esta fase inicial, cuando trasladar al enfermo a la sala de RM puede resultar más arriesgado, por lo que es preciso valorar beneficios y riesgos en estos casos. No ha quedado claramente establecido, con los trabajos publicados hasta la fecha, el papel predictivo real de la RM cuando además se tiene en cuenta la función

neurológica<sup>8</sup>. Por todo ello, nuestro trabajo busca analizar el peso relativo de las pruebas complementarias, en concreto la RM, en las primeras 72 horas.

Lo que es más reseñable de nuestro estudio, es que incluso después de ajustar por la función neurológica al ingreso, el edema mayor de 36 mm y la luxación facetaria mostraron ser potentes predictores de mal pronóstico en el análisis multivariable, independientemente de la exploración neurológica inicial.

De acuerdo al análisis de las curvas ROC, la capacidad discriminativa del modelo que incluía la exploración neurológica y los hallazgos radiológicos demostró ser superior a la de la función neurológica inicial individualmente. Estos resultados certifican la importancia y utilidad de la RM en la fase precoz del trauma. Su valor podría ser aún mayor si se considera el subgrupo de pacientes donde la exploración neurológica es menos fiable, como en los casos de bajo nivel de conciencia, sedación o trauma asociado. Al aportar variables útiles para la predicción pronóstica, nos provee de la base para la elaboración de futuras escalas pronósticas, lo que además nos concede la facultad de poder ampliar la información en el consentimiento informado, permitiendo al paciente y al médico tomar una decisión más ponderada sobre el manejo terapéutico.

## **Limitaciones de los estudios**

Nuestras conclusiones se basan en un estudio observacional analítico realizados a partir de una revisión de una base de datos de dos centros quirúrgicos de tercer nivel recogida retrospectivamente. Como queda reflejado en los artículos presentados en esta tesis, únicamente se incluyen pacientes en los que la decisión médica derivó en la realización de una RM en fase precoz. Esto incurre en sesgos de selección inevitables e inherentes a cada uno de los trabajos.

Segundo, la indicación de tratamiento quirúrgico no está estandarizada en todos los pacientes, sino que tal decisión depende de múltiples condiciones, criterios del cirujano responsable, comorbilidad del paciente, circunstancias sociales y creencias por parte de pacientes y familiares. Del mismo modo, los pacientes han sido incluidos a lo largo de un extenso período de tiempo, pudiendo haber existido durante este tiempo cambios en el paradigma de tratamiento en estos pacientes. En el apartado correspondiente de la introducción se ha tratado de estructurar cual es la evidencia actual y a la que se ajustan la mayoría de protocolos hospitalarios, pero es cierto que en la neurocirugía en general, y en el trauma cervical en particular, existe una gran variabilidad entre cada caso, y el criterio quirúrgico varía enormemente. Por poner un ejemplo, en los años ochenta y noventa, a raíz de una serie de trabajos originales de Schneider<sup>34</sup>, se pensaba que tratar quirúrgicamente a los pacientes con síndrome centromedular era contraproducente, puesto que el mismo procedimiento quirúrgico podría empeorar la situación neurológica. Sin embargo, actualmente, es casi un estándar tratar aquellos pacientes con una lesión medular incompleta progresiva, tanto si se trata de un síndrome centromedular como si no. Las consideraciones a lo largo del tiempo, respecto al SCIWOCTET, también han variado

enormemente, sobre todo por el desarrollo de técnicas radiológicas más sensibles capaces de detectar mínimas alteraciones en la estructura de la médula espinal. A todo esto, podemos añadir el hándicap, de que en uno de nuestros trabajos se incluyen pacientes tratados en dos centros. Aunque el centro adicional escogido se seleccionó en base a compartir un protocolo similar en cuanto al manejo con el centro original (Hospital 12 de Octubre), es inevitable no poder obviar las diferencias demográficas de las áreas que cubren ambos centros, así como de los servicios adyacentes colaboradores (protocolo de alta y rehabilitación a largo plazo, asistencia social en el manejo postraumático, atención prehospitalaria, tiempo transcurrido entre el accidente y la llegada al centro hospitalario), todo lo cual añade un potencial sesgo de selección.

Tercero, el análisis volumétrico ha demostrado ser un método mucho más fiable para la medida cuantitativa de diversos hallazgos radiológicos en otras patologías, tales como el traumatismo craneoencefálico<sup>202</sup> o la hemorragia subaracnoidea<sup>203</sup>. Como contrapartida, estas técnicas suelen precisar de mayores tiempos de análisis, lo que lo hace incompatible con la práctica clínica diaria, especialmente en el trauma cervical. Igualmente, los pacientes incluidos en nuestro estudio anteriormente a 2006 carecen de imágenes en soporte digital, lo que impide el análisis volumétrico en dichos pacientes. Entre las variables cuantitativas que potencialmente se hubiesen beneficiado de un análisis volumétrico se encuentra la longitud del edema, la cual es la variable radiológica más potente en nuestros resultados para determinar el pronóstico. Para el análisis cuantitativo de la lesión (o edema) decidimos utilizar el método descrito por Flanders<sup>157</sup> y Miyajima<sup>9</sup> por dos motivos: primero, por su directa aplicabilidad a la práctica clínica actual, al ser un método rápido y eficaz, accesible a cualquier profesional; segundo, por ser el método más usado a lo largo de los trabajos previos acerca del valor pronóstico de la resonancia magnética en el traumatismo medular cervical<sup>19, 114, 116, 155, 157</sup>.

Cuarto, el análisis de los hallazgos radiológicos fue llevado a cabo por consenso y simultáneamente por dos observadores. Dado que fueron analizados de forma simultánea, no se estudió la variabilidad interobservador. No obstante, ambos observadores estaban cegados para los datos clínicos y demográficos de los pacientes incluidos. La validez y variabilidad inter e intraobservador de la RM en el estudio del traumatismo cervical ya se ha investigado en anteriores publicaciones<sup>204, 205</sup> y su análisis no está incluido dentro de los principales objetivos de nuestro trabajo. No obstante, sí consideramos adecuado que, ante la aparición de nuevas secuencias y la mejoría de las secuencias previas, sería conveniente volver a analizar el valor predictivo de la RM en esta patología en un futuro no muy lejano, una vez que estas técnicas se encuentren incluidas de forma estandarizada en los diferentes protocolos de traumatismo cervical.





# **VI. CONCLUSIONES**



## CONCLUSIONES

1) La RM precoz (realizada en las primeras 72-96 horas del trauma) tiene un importante valor pronóstico en el estudio de la LMA cervical traumática, al ser capaz de determinar los pacientes con un mayor riesgo de presentar una mala evolución neurológica. Esta capacidad predictiva ha demostrado ser independiente de la función neurológica en los pacientes con lesión medular incompleta.

2) La lesión de los ligamentos cervicales, y más especialmente del ligamento amarillo, está asociada a lesiones medulares más extensas.

3) Los pacientes con LMA y extensión de edema intramedular superior a 36 milímetros presentan un riesgo de hasta 4 veces superior de no mostrar una mejoría neurológica significativa durante la evolución. Por otro lado, los pacientes con lesión del LCA y, de forma más consistente, con lesión del LF, muestran lesiones más graves además de una mayor probabilidad de no mostrar mejoría neurológica.

4) Además de una pobre función neurológica inicial, la presencia de luxación facetaria en la TC y la determinación en RM de una lesión intramedular mayor de 36 milímetros son las variables asociadas, de manera independiente, a una mala evolución neurológica.

5) La detección de la lesión de ligamentos cervicales y una mayor extensión del aumento de señal intramedular en T2 en los cortes sagitales son los factores más determinantes en la RM cervical para predecir una ausencia de recuperación neurológica en los pacientes con SCIWOCTET.

## **VII. REFERENCIAS**



## REFERENCIAS

1. Oyinbo CA. Secondary injury mechanisms in traumatic spinal cord injury: A nugget of this multiply cascade. *Acta Neurobiol Exp (Wars)*. 2011;71:281-299
2. Newman MF FL, Fink MP. *Perioperative medicine: Managing for outcome*. Elsevier; 2008.
3. Allen BL, Jr., Ferguson RL, Lehmann TR, O'Brien RP. A mechanistic classification of closed, indirect fractures and dislocations of the lower cervical spine. *Spine (Phila Pa 1976)*. 1982;7:1-27
4. Alday R, Lobato RD, Gomez PA. Cervical spine fractures. *Neurosurgery*. New York: Livingston; 1996.
5. White AA, 3rd, Johnson RM, Panjabi MM, Southwick WO. Biomechanical analysis of clinical stability in the cervical spine. *Clin Orthop Relat Res*. 1975:85-96
6. Denis F. Spinal instability as defined by the three-column spine concept in acute spinal trauma. *Clin Orthop Relat Res*. 1984:65-76
7. Holdsworth F. Fractures, dislocations, and fracture-dislocations of the spine. *J Bone Joint Surg Am*. 1970;52:1534-1551
8. Cadotte DW, Wilson JR, Mikulis D, Stroman PW, Brady S, Fehlings MG. Conventional mri as a diagnostic and prognostic tool in spinal cord injury: A systemic review of its application to date and an overview on emerging mri methods. *Expert Opin Med Diagn*. 2011;5:121-133
9. Miyanji F, Furlan JC, Aarabi B, Arnold PM, Fehlings MG. Acute cervical traumatic spinal cord injury: Mr imaging findings correlated with neurologic outcome--prospective study with 100 consecutive patients. *Radiology*. 2007;243:820-827
10. Vaccaro AR, Hulbert RJ, Patel AA, Fisher C, Dvorak M, Lehman RA, Jr., Anderson P, Harrop J, Oner FC, Arnold P, Fehlings M, Hedlund R, Madrazo I, Rechtine G, Aarabi B, Shainline M, Spine Trauma Study G. The subaxial cervical spine injury classification system: A novel approach to recognize the importance of morphology, neurology, and integrity of the disco-ligamentous complex. *Spine (Phila Pa 1976)*. 2007;32:2365-2374
11. Moore TA, Vaccaro AR, Anderson PA. Classification of lower cervical spine injuries. *Spine (Phila Pa 1976)*. 2006;31:S37-43; discussion S61
12. Patel AA, Hurlbert RJ, Bono CM, Bessey JT, Yang N, Vaccaro AR. Classification and surgical decision making in acute subaxial cervical spine trauma. *Spine (Phila Pa 1976)*. 2010;35:S228-234
13. Aarabi B, Walters BC, Dhall SS, Gelb DE, Hurlbert RJ, Rozzelle CJ, Ryken TC, Theodore N, Hadley MN. Subaxial cervical spine injury classification systems. *Neurosurgery*. 2013;72 Suppl 2:170-186
14. Dvorak MF, Fisher CG, Fehlings MG, Rampersaud YR, Oner FC, Aarabi B, Vaccaro AR. The surgical approach to subaxial cervical spine injuries: An evidence-based algorithm based on the slic classification system. *Spine (Phila Pa 1976)*. 2007;32:2620-2629
15. Ackery A, Tator C, Krassioukov A. A global perspective on spinal cord injury epidemiology. *J Neurotrauma*. 2004;21:1355-1370
16. Milby AH, Halpern CH, Guo W, Stein SC. Prevalence of cervical spinal injury in trauma. *Neurosurg Focus*. 2008;25:E10
17. Crozier KS, Graziani V, Ditunno JF, Jr., Herbison GJ. Spinal cord injury: Prognosis for ambulation based on sensory examination in patients who are initially motor complete. *Arch Phys Med Rehabil*. 1991;72:119-121



18. Como JJ, Samia H, Nemunaitis GA, Jain V, Anderson JS, Malangoni MA, Claridge JA. The misapplication of the term spinal cord injury without radiographic abnormality (sciwora) in adults. *J Trauma Acute Care Surg.* 2012;73:1261-1266
19. Biering-Sorensen F, Bickenbach JE, El Masry WS, Officer A, von Groote PM. Iscos-who collaboration. International perspectives of spinal cord injury (ipsci) report. *Spinal Cord.* 2011;49:679-683
20. Jain NB, Ayers GD, Peterson EN, Harris MB, Morse L, O'Connor KC, Garshick E. Traumatic spinal cord injury in the united states, 1993-2012. *JAMA.* 2015;313:2236-2243
21. Kraus JF, Franti CE, Riggins RS, Richards D, Borhani NO. Incidence of traumatic spinal cord lesions. *J Chronic Dis.* 1975;28:471-492
22. Chamberlain JD, Deriaz O, Hund-Georgiadis M, Meier S, Scheel-Sailer A, Schubert M, Stucki G, Brinkhof MW. Epidemiology and contemporary risk profile of traumatic spinal cord injury in switzerland. *Inj Epidemiol.* 2015;2:28
23. DeVivo M CY, Menne Meyer S, Deutsch A. Costs of care following spinal cord injury. *Topics in Spinal Cord Injury Rehabilitation.* 2011;16:1-9
24. JJ Z. *Neurologia.* Barcelona: Elsevier; 2013.
25. MS G. Management of spinal cord injury. *Handbook of neurosurgery.* New York: Thieme; 2016.
26. Braakman R. [traumatic cross-sectional spinal cord injuries]. *Ned Tijdschr Geneesk.* 1976;120:1717-1721
27. Chesnut R, Narayan R, Wilberger J, Povlishock J. Emergency management of spinal cord injury. *Neurotrauma.* New York: Mc Graw Hill; 1996:1121-1138.
28. Atkinson PP, Atkinson JL. Spinal shock. *Mayo Clin Proc.* 1996;71:384-389
29. RM C, RK N, Wilberger J, JT P. *Emergency management of spinal cord injury. Neurotrauma.* New York: Mc Graw Hill; 1996:1121-1138.
30. Early acute management in adults with spinal cord injury: A clinical practice guideline for health-care professionals. *J Spinal Cord Med.* 2008;31:403-479
31. Walters BC, Hadley MN, Hurlbert RJ, Aarabi B, Dhall SS, Gelb DE, Harrigan MR, Rozelle CJ, Ryken TC, Theodore N, American Association of Neurological S, Congress of Neurological S. Guidelines for the management of acute cervical spine and spinal cord injuries: 2013 update. *Neurosurgery.* 2013;60 Suppl 1:82-91
32. Waters RL, Adkins RH, Yakura J, Sie I. Profiles of spinal cord injury and recovery after gunshot injury. *Clin Orthop Relat Res.* 1991:14-21
33. R B, L P. Injuries of the cervical spine. In: PJ V, GW B, eds. *Handbook of clinical neurology.* Amsterdam: Elsevier; 1976.
34. Schneider RC, Cherry G, Pantek H. The syndrome of acute central cervical spinal cord injury; with special reference to the mechanisms involved in hyperextension injuries of cervical spine. *J Neurosurg.* 1954;11:546-577
35. Rand RW, Crandall PH. Central spinal cord syndrome in hyper-extension injuries of the cervical spine. *J Bone Joint Surg Am.* 1962;44-A:1415-1422
36. Bose B, Northrup BE, Osterholm JL, Cotler JM, DiTunno JF. Reanalysis of central cervical cord injury management. *Neurosurgery.* 1984;15:367-372
37. Brodkey JS, Miller CF, Jr., Harmody RM. The syndrome of acute central cervical spinal cord injury revisited. *Surg Neurol.* 1980;14:251-257
38. Chen TY, Lee ST, Lui TN, Wong CW, Yeh YS, Tzaan WC, Hung SY. Efficacy of surgical treatment in traumatic central cord syndrome. *Surg Neurol.* 1997;48:435-440; discussion 441

39. Epstein N, Epstein JA, Benjamin V, Ransohoff J. Traumatic myelopathy in patients with cervical spinal stenosis without fracture or dislocation: Methods of diagnosis, management, and prognosis. *Spine (Phila Pa 1976)*. 1980;5:489-496
40. Miranda P, Gomez P, Alday R. Acute traumatic central cord syndrome: Analysis of clinical and radiological correlations. *J Neurosurg Sci*. 2008;52:107-112; discussion 112
41. Levi L, Wolf A, Mirvis S, Rigamonti D, Fianfaca MS, Monasky M. The significance of dorsal migration of the cord after extensive cervical laminectomy for patients with traumatic central cord syndrome. *J Spinal Disord*. 1995;8:289-295
42. Miranda P, Gomez P, Alday R, Kaen A, Ramos A. Brown-sequard syndrome after blunt cervical spine trauma: Clinical and radiological correlations. *Eur Spine J*. 2007;16:1165-1170
43. Lim E, Wong YS, Lo YL, Lim SH. Traumatic atypical brown-sequard syndrome: Case report and literature review. *Clin Neurol Neurosurg*. 2003;105:143-145
44. Oller DW, Boone S. Blunt cervical spine brown-sequard injury. A report of three cases. *Am Surg*. 1991;57:361-365
45. Edwards A, Andrews R. A case of brown-sequard syndrome with associated horner's syndrome after blunt injury to the cervical spine. *Emerg Med J*. 2001;18:512-513
46. Peacock WJ, Shrosbree RD, Key AG. A review of 450 stabwounds of the spinal cord. *S Afr Med J*. 1977;51:961-964
47. Little JW, Halar E. Temporal course of motor recovery after brown-sequard spinal cord injuries. *Paraplegia*. 1985;23:39-46
48. Roth EJ, Park T, Pang T, Yarkony GM, Lee MY. Traumatic cervical brown-sequard and brown-sequard-plus syndromes: The spectrum of presentations and outcomes. *Paraplegia*. 1991;29:582-589
49. Greenberg MS. Management of spinal cord injury. *Handbook of neurosurgery*. New York: Thieme; 2016.
50. Ditunno JF, Jr., Young W, Donovan WH, Creasey G. The international standards booklet for neurological and functional classification of spinal cord injury. American spinal injury association. *Paraplegia*. 1994;32:70-80
51. Pang D, Wilberger JE, Jr. Spinal cord injury without radiographic abnormalities in children. *J Neurosurg*. 1982;57:114-129
52. Boese CK, Muller D, Broer R, Eysel P, Krischek B, Lehmann HC, Lechler P. Spinal cord injury without radiographic abnormality (sciwora) in adults: Mri type predicts early neurologic outcome. *Spinal Cord*. 2016
53. Tewari MK, Gifti DS, Singh P, Khosla VK, Mathuriya SN, Gupta SK, Pathak A. Diagnosis and prognostication of adult spinal cord injury without radiographic abnormality using magnetic resonance imaging: Analysis of 40 patients. *Surg Neurol*. 2005;63:204-209; discussion 209
54. Boese CK, Nerlich M, Klein SM, Wirries A, Ruchholtz S, Lechler P. Early magnetic resonance imaging in spinal cord injury without radiological abnormality in adults: A retrospective study. *J Trauma Acute Care Surg*. 2013;74:845-848
55. Grabb PA, Pang D. Magnetic resonance imaging in the evaluation of spinal cord injury without radiographic abnormality in children. *Neurosurgery*. 1994;35:406-414; discussion 414
56. Gupta SK, Rajeev K, Khosla VK, Sharma BS, Paramjit, Mathuriya SN, Pathak A, Tewari MK, Kumar A. Spinal cord injury without radiographic abnormality in adults. *Spinal Cord*. 1999;37:726-729
57. Liu Q, Liu Q, Zhao J, Yu H, Ma X, Wang L. Early mri finding in adult spinal cord injury without radiologic abnormalities does not correlate with the neurological outcome: A retrospective study. *Spinal Cord*. 2015;53:750-753

58. Mohanty SP, Bhat NS, Singh KA, Bhushan M. Cervical spinal cord injuries without radiographic evidence of trauma: A prospective study. *Spinal Cord*. 2013;51:815-818
59. Tator CH, Rowed DW, Schwartz ML, Gertzbein SD, Bharatwal N, Barkin M, Edmonds VE. Management of acute spinal cord injuries. *Can J Surg*. 1984;27:289-293, 296
60. Zach GA, Seiler W, Dollfus P. Treatment results of spinal cord injuries in the swiss paraplegic centre of basle. *Paraplegia*. 1976;14:58-65
61. Bracken MB, Shepard MJ, Collins WF, Jr., Holford TR, Baskin DS, Eisenberg HM, Flamm E, Leo-Summers L, Maroon JC, Marshall LF, et al. Methylprednisolone or naloxone treatment after acute spinal cord injury: 1-year follow-up data. Results of the second national acute spinal cord injury study. *J Neurosurg*. 1992;76:23-31
62. Bracken MB, Shepard MJ, Collins WF, Holford TR, Young W, Baskin DS, Eisenberg HM, Flamm E, Leo-Summers L, Maroon J, et al. A randomized, controlled trial of methylprednisolone or naloxone in the treatment of acute spinal-cord injury. Results of the second national acute spinal cord injury study. *N Engl J Med*. 1990;322:1405-1411
63. Bracken MB, Shepard MJ, Holford TR, Leo-Summers L, Aldrich EF, Fazl M, Fehlings M, Herr DL, Hitchon PW, Marshall LF, Nockels RP, Pascale V, Perot PL, Jr., Piepmeier J, Sonntag VK, Wagner F, Wilberger JE, Winn HR, Young W. Administration of methylprednisolone for 24 or 48 hours or tirilazad mesylate for 48 hours in the treatment of acute spinal cord injury. Results of the third national acute spinal cord injury randomized controlled trial. National acute spinal cord injury study. *JAMA*. 1997;277:1597-1604
64. Bracken MB, Shepard MJ, Holford TR, Leo-Summers L, Aldrich EF, Fazl M, Fehlings MG, Herr DL, Hitchon PW, Marshall LF, Nockels RP, Pascale V, Perot PL, Jr., Piepmeier J, Sonntag VK, Wagner F, Wilberger JE, Winn HR, Young W. Methylprednisolone or tirilazad mesylate administration after acute spinal cord injury: 1-year follow up. Results of the third national acute spinal cord injury randomized controlled trial. *J Neurosurg*. 1998;89:699-706
65. Geisler FH, Coleman WP, Grieco G, Poonian D, Sygen Study G. The sygen multicenter acute spinal cord injury study. *Spine (Phila Pa 1976)*. 2001;26:S87-98
66. Bracken MB. Methylprednisolone and acute spinal cord injury: An update of the randomized evidence. *Spine (Phila Pa 1976)*. 2001;26:S47-54
67. Fehlings MG, Vaccaro A, Wilson JR, Singh A, D WC, Harrop JS, Aarabi B, Shaffrey C, Dvorak M, Fisher C, Arnold P, Massicotte EM, Lewis S, Rampersaud R. Early versus delayed decompression for traumatic cervical spinal cord injury: Results of the surgical timing in acute spinal cord injury study (stascis). *PLoS One*. 2012;7:e32037
68. Evaniew N, Belley-Cote EP, Fallah N, Noonan VK, Rivers CS, Dvorak MF. Methylprednisolone for the treatment of patients with acute spinal cord injuries: A systematic review and meta-analysis. *J Neurotrauma*. 2016;33:468-481
69. Song KJ, Lee KB. Anterior versus combined anterior and posterior fixation/fusion in the treatment of distraction-flexion injury in the lower cervical spine. *J Clin Neurosci*. 2008;15:36-42
70. Reindl R, Ouellet J, Harvey EJ, Berry G, Arlet V. Anterior reduction for cervical spine dislocation. *Spine (Phila Pa 1976)*. 2006;31:648-652
71. Pateder DB, Carbone JJ. Lateral mass screw fixation for cervical spine trauma: Associated complications and efficacy in maintaining alignment. *Spine J*. 2006;6:40-43
72. Mizuno J, Nakagawa H, Inoue T, Nonaka Y, Song J, Romli TM. Spinal instrumentation for interfacet locking injuries of the subaxial cervical spine. *J Clin Neurosci*. 2007;14:49-52
73. Kim SM, Lim TJ, Paterno J, Park J, Kim DH. A biomechanical comparison of three surgical approaches in bilateral subaxial cervical facet dislocation. *J Neurosurg Spine*. 2004;1:108-115

74. Harrington JF, Jr., Park MC. Single level arthrodesis as treatment for midcervical fracture subluxation: A cohort study. *J Spinal Disord Tech.* 2007;20:42-48
75. Lee JY, Nassr A, Eck JC, Vaccaro AR. Controversies in the treatment of cervical spine dislocations. *Spine J.* 2009;9:418-423
76. Schneider RC, Crosby EC, Russo RH. Traumatic spinal cord syndromes and their management. *Clin Neurosurg.* 1972;20:424-492
77. Wagner FC, Jr., Chehraz B. Early decompression and neurological outcome in acute cervical spinal cord injuries. *J Neurosurg.* 1982;56:699-705
78. Fox JL, Wener L, Drennan DC, Manz HJ, Won DJ, Al-Mefty O. Central spinal cord injury: Magnetic resonance imaging confirmation and operative considerations. *Neurosurgery.* 1988;22:340-347
79. Bedbrook GM, Sedgley GI. The management of spinal injuries--past and present. *Int Rehabil Med.* 1980;2:45-61
80. Fehlings MG, Perrin RG. The timing of surgical intervention in the treatment of spinal cord injury: A systematic review of recent clinical evidence. *Spine (Phila Pa 1976).* 2006;31:S28-35; discussion S36
81. Sears W, Fazl M. Prediction of stability of cervical spine fracture managed in the halo vest and indications for surgical intervention. *J Neurosurg.* 1990;72:426-432
82. Brodke DS, Anderson PA, Newell DW, Grady MS, Chapman JR. Comparison of anterior and posterior approaches in cervical spinal cord injuries. *J Spinal Disord Tech.* 2003;16:229-235
83. Vaccaro AR, Falatyn SP, Flanders AE, Balderston RA, Northrup BE, Cotler JM. Magnetic resonance evaluation of the intervertebral disc, spinal ligaments, and spinal cord before and after closed traction reduction of cervical spine dislocations. *Spine (Phila Pa 1976).* 1999;24:1210-1217
84. Grant GA, Mirza SK, Chapman JR, Winn HR, Newell DW, Jones DT, Grady MS. Risk of early closed reduction in cervical spine subluxation injuries. *J Neurosurg.* 1999;90:13-18
85. Eismont FJ, Arena MJ, Green BA. Extrusion of an intervertebral disc associated with traumatic subluxation or dislocation of cervical facets. Case report. *J Bone Joint Surg Am.* 1991;73:1555-1560
86. Nassr A, Lee JY, Dvorak MF, Harrop JS, Dailey AT, Shaffrey CI, Arnold PM, Brodke DS, Rampersaud R, Grauer JN, Winegar C, Vaccaro AR. Variations in surgical treatment of cervical facet dislocations. *Spine (Phila Pa 1976).* 2008;33:E188-193
87. Hoffman JR, Wolfson AB, Todd K, Mower WR. Selective cervical spine radiography in blunt trauma: Methodology of the national emergency x-radiography utilization study (nexus). *Ann Emerg Med.* 1998;32:461-469
88. Stiell IG, Wells GA, Vandemheen KL, Clement CM, Lesiuk H, De Maio VJ, Laupacis A, Schull M, McKnight RD, Verbeek R, Brison R, Cass D, Dreyer J, Eisenhauer MA, Greenberg GH, MacPhail I, Morrison L, Reardon M, Worthington J. The canadian c-spine rule for radiography in alert and stable trauma patients. *JAMA.* 2001;286:1841-1848
89. Ryken TC, Hadley MN, Walters BC, Aarabi B, Dhall SS, Gelb DE, Hurlbert RJ, Rozzelle CJ, Theodore N. Radiographic assessment. *Neurosurgery.* 2013;72 Suppl 2:54-72
90. Hoffman JR, Mower WR, Wolfson AB, Todd KH, Zucker MI. Validity of a set of clinical criteria to rule out injury to the cervical spine in patients with blunt trauma. National emergency x-radiography utilization study group. *N Engl J Med.* 2000;343:94-99
91. Freemyer B, Knopp R, Piche J, Wales L, Williams J. Comparison of five-view and three-view cervical spine series in the evaluation of patients with cervical trauma. *Ann Emerg Med.* 1989;18:818-821

92. Lewis LM, Docherty M, Ruoff BE, Fortney JP, Keltner RA, Jr., Britton P. Flexion-extension views in the evaluation of cervical-spine injuries. *Ann Emerg Med.* 1991;20:117-121
93. MacDonald RL, Schwartz ML, Mirich D, Sharkey PW, Nelson WR. Diagnosis of cervical spine injury in motor vehicle crash victims: How many x-rays are enough? *J Trauma.* 1990;30:392-397
94. Wales LR, Knopp RK, Morishima MS. Recommendations for evaluation of the acutely injured cervical spine: A clinical radiologic algorithm. *Ann Emerg Med.* 1980;9:422-428
95. Lee HM, Kim HS, Kim DJ, Suk KS, Park JO, Kim NH. Reliability of magnetic resonance imaging in detecting posterior ligament complex injury in thoracolumbar spinal fractures. *Spine (Phila Pa 1976).* 2000;25:2079-2084
96. Haba H, Taneichi H, Kotani Y, Terae S, Abe S, Yoshikawa H, Abumi K, Minami A, Kaneda K. Diagnostic accuracy of magnetic resonance imaging for detecting posterior ligamentous complex injury associated with thoracic and lumbar fractures. *J Neurosurg.* 2003;99:20-26
97. Bailitz J, Starr F, Beecroft M, Bankoff J, Roberts R, Bokhari F, Joseph K, Wiley D, Dennis A, Gilkey S, Erickson P, Raksin P, Nagy K. Ct should replace three-view radiographs as the initial screening test in patients at high, moderate, and low risk for blunt cervical spine injury: A prospective comparison. *J Trauma.* 2009;66:1605-1609
98. Nunez DB, Jr., Quencer RM. The role of helical ct in the assessment of cervical spine injuries. *AJR Am J Roentgenol.* 1998;171:951-957
99. Woodring JH, Lee C. Limitations of cervical radiography in the evaluation of acute cervical trauma. *J Trauma.* 1993;34:32-39
100. Platzer P, Hauswirth N, Jandl M, Chatwani S, Vecsei V, Gaebler C. Delayed or missed diagnosis of cervical spine injuries. *J Trauma.* 2006;61:150-155
101. Daffner RH. Helical ct of the cervical spine for trauma patients: A time study. *AJR Am J Roentgenol.* 2001;177:677-679
102. Berlin L. Ct versus radiography for initial evaluation of cervical spine trauma: What is the standard of care? *AJR Am J Roentgenol.* 2003;180:911-915
103. Barba CA, Taggart J, Morgan AS, Guerra J, Bernstein B, Lorenzo M, Gershon A, Epstein N. A new cervical spine clearance protocol using computed tomography. *J Trauma.* 2001;51:652-656; discussion 656-657
104. Holmes JF, Akkinepalli R. Computed tomography versus plain radiography to screen for cervical spine injury: A meta-analysis. *J Trauma.* 2005;58:902-905
105. Adams JM, Cockburn MI, Difazio LT, Garcia FA, Siegel BK, Bilaniuk JW. Spinal clearance in the difficult trauma patient: A role for screening mri of the spine. *Am Surg.* 2006;72:101-105
106. Kerslake RW, Jaspan T, Worthington BS. Magnetic resonance imaging of spinal trauma. *Br J Radiol.* 1991;64:386-402
107. Klein GR, Vaccaro AR, Albert TJ, Schweitzer M, Deely D, Karasick D, Cotler JM. Efficacy of magnetic resonance imaging in the evaluation of posterior cervical spine fractures. *Spine (Phila Pa 1976).* 1999;24:771-774
108. Benzel EC, Hart BL, Ball PA, Baldwin NG, Orrison WW, Espinosa MC. Magnetic resonance imaging for the evaluation of patients with occult cervical spine injury. *J Neurosurg.* 1996;85:824-829
109. Hogan GJ, Mirvis SE, Shanmuganathan K, Scalea TM. Exclusion of unstable cervical spine injury in obtunded patients with blunt trauma: Is mr imaging needed when multi-detector row ct findings are normal? *Radiology.* 2005;237:106-113
110. Tomycz ND, Chew BG, Chang YF, Darby JM, Gunn SR, Nicholas DH, Ochoa JB, Peitzman AB, Schwartz E, Pape HC, Spiro RM, Okonkwo DO. Mri is unnecessary to clear the cervical spine in

- obtunded/comatose trauma patients: The four-year experience of a level i trauma center. *J Trauma*. 2008;64:1258-1263
111. Sliker CW, Mirvis SE, Shanmuganathan K. Assessing cervical spine stability in obtunded blunt trauma patients: Review of medical literature. *Radiology*. 2005;234:733-739
  112. Menaker J, Philp A, Boswell S, Scalea TM. Computed tomography alone for cervical spine clearance in the unreliable patient--are we there yet? *J Trauma*. 2008;64:898-903; discussion 903-894
  113. Shah LM, Flanders AE. Update on new imaging techniques for trauma. *Neurosurg Clin N Am*. 2017;28:1-21
  114. Leypold BG, Flanders AE, Burns AS. The early evolution of spinal cord lesions on mr imaging following traumatic spinal cord injury. *AJNR Am J Neuroradiol*. 2008;29:1012-1016
  115. Kulkarni MV, Bondurant FJ, Rose SL, Narayana PA. 1.5 tesla magnetic resonance imaging of acute spinal trauma. *Radiographics*. 1988;8:1059-1082
  116. Flanders AE, Schaefer DM, Doan HT, Mishkin MM, Gonzalez CF, Northrup BE. Acute cervical spine trauma: Correlation of mr imaging findings with degree of neurologic deficit. *Radiology*. 1990;177:25-33
  117. Bondurant FJ, Cotler HB, Kulkarni MV, McArdle CB, Harris JH, Jr. Acute spinal cord injury. A study using physical examination and magnetic resonance imaging. *Spine (Phila Pa 1976)*. 1990;15:161-168
  118. McAfee PC, Bohlman HH, Han JS, Salvagno RT. Comparison of nuclear magnetic resonance imaging and computed tomography in the diagnosis of upper cervical spinal cord compression. *Spine (Phila Pa 1976)*. 1986;11:295-304
  119. Mascalchi M, Dal Pozzo G, Dini C, Zampa V, D'Andrea M, Mizzau M, Lolli F, Caramella D, Bartolozzi C. Acute spinal trauma: Prognostic value of mri appearances at 0.5 t. *Clin Radiol*. 1993;48:100-108
  120. Kang JD, Figgie MP, Bohlman HH. Sagittal measurements of the cervical spine in subaxial fractures and dislocations. An analysis of two hundred and eighty-eight patients with and without neurological deficits. *J Bone Joint Surg Am*. 1994;76:1617-1628
  121. Bozzo A, Marcoux J, Radhakrishna M, Pelletier J, Goulet B. The role of magnetic resonance imaging in the management of acute spinal cord injury. *J Neurotrauma*. 2011;28:1401-1411
  122. Fehlings MG, Rao SC, Tator CH, Skaf G, Arnold P, Benzel E, Dickman C, Cuddy B, Green B, Hitchon P, Northrup B, Sonntag V, Wagner F, Wilberger J. The optimal radiologic method for assessing spinal canal compromise and cord compression in patients with cervical spinal cord injury. Part ii: Results of a multicenter study. *Spine (Phila Pa 1976)*. 1999;24:605-613
  123. Aebli N, Wicki AG, Ruegg TB, Petrou N, Eisenlohr H, Krebs J. The torg-pavlov ratio for the prediction of acute spinal cord injury after a minor trauma to the cervical spine. *Spine Journal*. 2013;23:605-612
  124. Flanders AE, Tartaglino LM, Friedman DP, Aquilone LF. Magnetic resonance imaging in acute spinal injury. *Semin Roentgenol*. 1992;27:271-298
  125. Sipski ML, Jackson AB, Gomez-Marin O, Estores I, Stein A. Effects of gender on neurologic and functional recovery after spinal cord injury. *Arch Phys Med Rehabil*. 2004;85:1826-1836
  126. Zariffa J, Kramer JL, Fawcett JW, Lammertse DP, Blight AR, Guest J, Jones L, Burns S, Schubert M, Bolliger M, Curt A, Steeves JD. Characterization of neurological recovery following traumatic sensorimotor complete thoracic spinal cord injury. *Spinal Cord*. 2011;49:463-471
  127. Calancie B, Molano MR, Broton JG. Tendon reflexes for predicting movement recovery after acute spinal cord injury in humans. *Clin Neurophysiol*. 2004;115:2350-2363

128. van Middendorp JJ, Hosman AJ, Pouw MH, Group E-SS, Van de Meent H. Asia impairment scale conversion in traumatic sci: Is it related with the ability to walk? A descriptive comparison with functional ambulation outcome measures in 273 patients. *Spinal Cord*. 2009;47:555-560
129. Varma A, Hill EG, Nicholas J, Selassie A. Predictors of early mortality after traumatic spinal cord injury: A population-based study. *Spine (Phila Pa 1976)*. 2010;35:778-783
130. Steeves JD, Lammertse D, Curt A, Fawcett JW, Tuszynski MH, Ditunno JF, Ellaway PH, Fehlings MG, Guest JD, Kleitman N, Bartlett PF, Blight AR, Dietz V, Dobkin BH, Grossman R, Short D, Nakamura M, Coleman WP, Gaviria M, Privat A, International Campaign for Cures of Spinal Cord Injury P. Guidelines for the conduct of clinical trials for spinal cord injury (sci) as developed by the iccp panel: Clinical trial outcome measures. *Spinal Cord*. 2007;45:206-221
131. Furlan JC, Fehlings MG, Tator CH, Davis AM. Motor and sensory assessment of patients in clinical trials for pharmacological therapy of acute spinal cord injury: Psychometric properties of the asia standards. *J Neurotrauma*. 2008;25:1273-1301
132. Bracken MB, Collins WF, Freeman DF, Shepard MJ, Wagner FW, Silten RM, Hellenbrand KG, Ransohoff J, Hunt WE, Perot PL, Jr., et al. Efficacy of methylprednisolone in acute spinal cord injury. *JAMA*. 1984;251:45-52
133. Furlan JC, Noonan V, Singh A, Fehlings MG. Assessment of impairment in patients with acute traumatic spinal cord injury: A systematic review of the literature. *J Neurotrauma*. 2011;28:1445-1477
134. Wilson JR, Cadotte DW, Fehlings MG. Clinical predictors of neurological outcome, functional status, and survival after traumatic spinal cord injury: A systematic review. *J Neurosurg Spine*. 2012;17:11-26
135. Schaefer DM, Flanders A, Northrup BE, Doan HT, Osterholm JL. Magnetic resonance imaging of acute cervical spine trauma. Correlation with severity of neurologic injury. *Spine (Phila Pa 1976)*. 1989;14:1090-1095
136. Marciello MA, Flanders AE, Herbison GJ, Schaefer DM, Friedman DP, Lane JL. Magnetic resonance imaging related to neurologic outcome in cervical spinal cord injury. *Arch Phys Med Rehabil*. 1993;74:940-946
137. O'Beirne J, Cassidy N, Raza K, Walsh M, Stack J, Murray P. Role of magnetic resonance imaging in the assessment of spinal injuries. *Injury*. 1993;24:149-154
138. Goradia D, Linnau KF, Cohen WA, Mirza S, Hallam DK, Blackmore CC. Correlation of mr imaging findings with intraoperative findings after cervical spine trauma. *AJNR Am J Neuroradiol*. 2007;28:209-215
139. Rihn JA, Fisher C, Harrop J, Morrison W, Yang N, Vaccaro AR. Assessment of the posterior ligamentous complex following acute cervical spine trauma. *J Bone Joint Surg Am*. 2010;92:583-589
140. Brinckman MA, Chau C, Ross JS. Marrow edema variability in acute spine fractures. *Spine J*. 2015;15:454-460
141. Lensing FD, Bisson EF, Wiggins RH, 3rd, Shah LM. Reliability of the stir sequence for acute type ii odontoid fractures. *AJNR Am J Neuroradiol*. 2014;35:1642-1646
142. Brown PJ, Marino RJ, Herbison GJ, Ditunno JF, Jr. The 72-hour examination as a predictor of recovery in motor complete quadriplegia. *Arch Phys Med Rehabil*. 1991;72:546-548
143. Browne BJ, Jacobs SR, Herbison GJ, Ditunno JF, Jr. Pin sensation as a predictor of extensor carpi radialis recovery in spinal cord injury. *Arch Phys Med Rehabil*. 1993;74:14-18

144. Marino RJ, Ditunno JF, Jr., Donovan WH, Maynard F, Jr. Neurologic recovery after traumatic spinal cord injury: Data from the model spinal cord injury systems. *Arch Phys Med Rehabil.* 1999;80:1391-1396
145. Fawcett JW, Curt A, Steeves JD, Coleman WP, Tuszynski MH, Lammertse D, Bartlett PF, Blight AR, Dietz V, Ditunno J, Dobkin BH, Havton LA, Ellaway PH, Fehlings MG, Privat A, Grossman R, Guest JD, Kleitman N, Nakamura M, Gaviria M, Short D. Guidelines for the conduct of clinical trials for spinal cord injury as developed by the iccp panel: Spontaneous recovery after spinal cord injury and statistical power needed for therapeutic clinical trials. *Spinal Cord.* 2007;45:190-205
146. Ota T, Akaboshi K, Nagata M, Sonoda S, Domen K, Seki M, Chino N. Functional assessment of patients with spinal cord injury: Measured by the motor score and the functional independence measure. *Spinal Cord.* 1996;34:531-535
147. Cifu DX, Seel RT, Kreutzer JS, McKinley WO. A multicenter investigation of age-related differences in lengths of stay, hospitalization charges, and outcomes for a matched tetraplegia sample. *Arch Phys Med Rehabil.* 1999;80:733-740
148. Furlan JC, Fehlings MG. The impact of age on mortality, impairment, and disability among adults with acute traumatic spinal cord injury. *J Neurotrauma.* 2009;26:1707-1717
149. Wirz M, Dietz V, European Multicenter Study of Spinal Cord Injury N. Recovery of sensorimotor function and activities of daily living after cervical spinal cord injury: The influence of age. *J Neurotrauma.* 2015;32:194-199
150. Fassett DR, Harrop JS, Maltenfort M, Jeyamohan SB, Ratliff JD, Anderson DG, Hilibrand AS, Albert TJ, Vaccaro AR, Sharan AD. Mortality rates in geriatric patients with spinal cord injuries. *J Neurosurg Spine.* 2007;7:277-281
151. O'Connor PJ. Survival after spinal cord injury in australia. *Arch Phys Med Rehabil.* 2005;86:37-47
152. Silberstein M, Hennessy O. Implications of focal spinal cord lesions following trauma: Evaluation with magnetic resonance imaging. *Paraplegia.* 1993;31:160-167
153. Song KJ, Kim GH, Lee KB. The efficacy of the modified classification system of soft tissue injury in extension injury of the lower cervical spine. *Spine (Phila Pa 1976).* 2008;33:E488-493
154. Boldin C, Raith J, Fankhauser F, Haunschmid C, Schwantzer G, Schweighofer F. Predicting neurologic recovery in cervical spinal cord injury with postoperative mr imaging. *Spine (Phila Pa 1976).* 2006;31:554-559
155. Flanders AE, Spettell CM, Friedman DP, Marino RJ, Herbison GJ. The relationship between the functional abilities of patients with cervical spinal cord injury and the severity of damage revealed by mr imaging. *AJNR Am J Neuroradiol.* 1999;20:926-934
156. Shimada K, Tokioka T. Sequential mr studies of cervical cord injury: Correlation with neurological damage and clinical outcome. *Spinal Cord.* 1999;37:410-415
157. Flanders AE, Spettell CM, Tartaglino LM, Friedman DP, Herbison GJ. Forecasting motor recovery after cervical spinal cord injury: Value of mr imaging. *Radiology.* 1996;201:649-655
158. Schaefer DM, Flanders AE, Osterholm JL, Northrup BE. Prognostic significance of magnetic resonance imaging in the acute phase of cervical spine injury. *J Neurosurg.* 1992;76:218-223
159. Le E, Aarabi B, Hersh DS, Shanmuganathan K, Diaz C, Massetti J, Akhtar-Danesh N. Predictors of intramedullary lesion expansion rate on mr images of patients with subaxial spinal cord injury. *J Neurosurg Spine.* 2015;22:611-621
160. Selden NR, Quint DJ, Patel N, d'Arcy HS, Papadopoulos SM. Emergency magnetic resonance imaging of cervical spinal cord injuries: Clinical correlation and prognosis. *Neurosurgery.* 1999;44:785-792; discussion 792-783



161. Bono CM, Vaccaro AR, Fehlings M, Fisher C, Dvorak M, Ludwig S, Harrop J. Measurement techniques for lower cervical spine injuries: Consensus statement of the spine trauma study group. *Spine (Phila Pa 1976)*. 2006;31:603-609
162. Frobin W, Leivseth G, Biggemann M, Brinckmann P. Vertebral height, disc height, posteroanterior displacement and dens-atlas gap in the cervical spine: Precision measurement protocol and normal data. *Clin Biomech (Bristol, Avon)*. 2002;17:423-431
163. Hilibrand AS, Tannenbaum DA, Graziano GP, Loder RT, Hensinger RN. The sagittal alignment of the cervical spine in adolescent idiopathic scoliosis. *J Pediatr Orthop*. 1995;15:627-632
164. Loder RT. The sagittal profile of the cervical and lumbosacral spine in scheuermann thoracic kyphosis. *J Spinal Disord*. 2001;14:226-231
165. Scivoletto G, Morganti B, Molinari M. Neurologic recovery of spinal cord injury patients in italy. *Arch Phys Med Rehabil*. 2004;85:485-489
166. Jefferson AL, Carmona H, Gifford KA, Lambe S, Byerly LK, Cantwell NG, Tripodis Y, Karlawish J. Clinical research risk assessment among individuals with mild cognitive impairment. *Am J Geriatr Psychiatry*. 2012;20:878-886
167. Martinez-Perez R, Paredes I, Cepeda S, Ramos A, Castano-Leon AM, Garcia-Fuentes C, Lobato RD, Gomez PA, Lagares A. Spinal cord injury after blunt cervical spine trauma: Correlation of soft-tissue damage and extension of lesion. *AJNR Am J Neuroradiol*. 2014;35:1029-1034
168. Martinez-Perez R, Munarriz PM, Paredes I, Cotrina J, Lagares A. Cervical spinal cord injury without computed tomography evidence of trauma (sciwoctet) in adults: Mri prognostic factors. *World Neurosurg*. 2016
169. Ramon S, Dominguez R, Ramirez L, Paraira M, Olona M, Castello T, Garcia Fernandez L. Clinical and magnetic resonance imaging correlation in acute spinal cord injury. *Spinal Cord*. 1997;35:664-673
170. Andreoli C, Colaiacomo MC, Rojas Beccaglia M, Di Biasi C, Casciani E, Gualdi G. Mri in the acute phase of spinal cord traumatic lesions: Relationship between mri findings and neurological outcome. *Radiol Med*. 2005;110:636-645
171. Radcliff K, Su BW, Kepler CK, Rubin T, Shimer AL, Rihn JA, Harrop JA, Albert TJ, Vaccaro AR. Correlation of posterior ligamentous complex injury and neurological injury to loss of vertebral body height, kyphosis, and canal compromise. *Spine (Phila Pa 1976)*. 2012;37:1142-1150
172. Samartzis D, Wein SM, Shen FH, Beazell J, Francke EI, Anderson DG. A revisitation of distractive-extension injuries of the subaxial cervical spine: A cadaveric and radiographic soft tissue analysis. *Spine (Phila Pa 1976)*. 2010;35:395-402
173. Pizones J, Sanchez-Mariscal F, Zuniga L, Alvarez P, Izquierdo E. Prospective analysis of magnetic resonance imaging accuracy in diagnosing traumatic injuries of the posterior ligamentous complex of the thoracolumbar spine. *Spine (Phila Pa 1976)*. 2012
174. Pizones J, Izquierdo E, Sanchez-Mariscal F, Zuniga L, Alvarez P, Gomez-Rice A. Sequential damage assessment of the different components of the posterior ligamentous complex after magnetic resonance imaging interpretation: Prospective study 74 traumatic fractures. *Spine (Phila Pa 1976)*. 2012;37:E662-667
175. Pizones J, Zuniga L, Sanchez-Mariscal F, Alvarez P, Gomez-Rice A, Izquierdo E. Mri study of post-traumatic incompetence of posterior ligamentous complex: Importance of the supraspinous ligament. Prospective study of 74 traumatic fractures. *Eur Spine J*. 2012;21:2222-2231

176. Hayashi K, Yone K, Ito H, Yanase M, Sakou T. Mri findings in patients with a cervical spinal cord injury who do not show radiographic evidence of a fracture or dislocation. *Paraplegia*. 1995;33:212-215
177. Machino M, Yukawa Y, Ito K, Nakashima H, Kanbara S, Morita D, Kato F. Can magnetic resonance imaging reflect the prognosis in patients of cervical spinal cord injury without radiographic abnormality? *Spine (Phila Pa 1976)*. 2011;36:E1568-1572
178. Shimada K, Tokioka T. Sequential mri studies in patients with cervical cord injury but without bony injury. *Paraplegia*. 1995;33:573-578
179. Bhatoe HS. Cervical spinal cord injury without radiological abnormality in adults. *Neurol India*. 2000;48:243-248
180. Koyanagi I, Iwasaki Y, Hida K, Akino M, Imamura H, Abe H. Acute cervical cord injury without fracture or dislocation of the spinal column. *J Neurosurg*. 2000;93:15-20
181. Kato H, Kimura A, Sasaki R, Kaneko N, Takeda M, Hagiwara A, Ogura S, Mizoguchi T, Matsuoka T, Ono H, Matsuura K, Matsushima K, Kushimoto S, Fuse A, Nakatani T, Iwase M, Fudoji J, Kasai T. Cervical spinal cord injury without bony injury: A multicenter retrospective study of emergency and critical care centers in japan. *J Trauma*. 2008;65:373-379
182. Okada S, Maeda T, Ohkawa Y, Harimaya K, Saiwai H, Kumamaru H, Matsumoto Y, Doi T, Ueta T, Shiba K, Iwamoto Y. Does ossification of the posterior longitudinal ligament affect the neurological outcome after traumatic cervical cord injury? *Spine (Phila Pa 1976)*. 2009;34:1148-1152
183. Guo H, Liu J, Qi X, Ning G, Zhang H, Li X, Ma X. Epidemiological characteristics of adult sciwora in tianjin, china: A preliminary study. *Eur Spine J*. 2012;21:165-171
184. Lamothe G, Muller F, Vital JM, Goossens D, Barat M. Evolution of spinal cord injuries due to cervical canal stenosis without radiographic evidence of trauma (sciworet): A prospective study. *Ann Phys Rehabil Med*. 2011;54:213-224
185. Cheng X, Ni B, Liu Q, Chen J, Guan H, Guo Q. Clinical and radiological outcomes of spinal cord injury without radiologic evidence of trauma with cervical disc herniation. *Arch Orthop Trauma Surg*. 2013;133:193-198
186. Nesnidal P, Stulik J, Barna M. [spinal cord concussion: A retrospective study of twenty-four patients]. *Acta Chir Orthop Traumatol Cech*. 2012;79:150-155
187. Saruhashi Y, Hukuda S, Katsuura A, Asajima S, Omura K. Clinical outcomes of cervical spinal cord injuries without radiographic evidence of trauma. *Spinal Cord*. 1998;36:567-573
188. Hendey GW, Wolfson AB, Mower WR, Hoffman JR, National Emergency XRUSG. Spinal cord injury without radiographic abnormality: Results of the national emergency x-radiography utilization study in blunt cervical trauma. *J Trauma*. 2002;53:1-4
189. Dare AO, Dias MS, Li V. Magnetic resonance imaging correlation in pediatric spinal cord injury without radiographic abnormality. *J Neurosurg*. 2002;97:33-39
190. Rao SC, Fehlings MG. The optimal radiologic method for assessing spinal canal compromise and cord compression in patients with cervical spinal cord injury. Part i: An evidence-based analysis of the published literature. *Spine (Phila Pa 1976)*. 1999;24:598-604
191. Song KJ, Ko JH, Choi BW. Relationship between magnetic resonance imaging findings and spinal cord injury in extension injury of the cervical spine. *Eur J Orthop Surg Traumatol*. 2016;26:263-269
192. Dunham CM, Brocker BP, Collier BD, Gemmel DJ. Risks associated with magnetic resonance imaging and cervical collar in comatose, blunt trauma patients with negative comprehensive cervical spine computed tomography and no apparent spinal deficit. *Crit Care*. 2008;12:R89

193. Como JJ, Thompson MA, Anderson JS, Shah RR, Claridge JA, Yowler CJ, Malangoni MA. Is magnetic resonance imaging essential in clearing the cervical spine in obtunded patients with blunt trauma? *J Trauma*. 2007;63:544-549
194. Kanji HD, Neitzel A, Sekhon M, McCallum J, Griesdale DE. Sixty-four-slice computed tomographic scanner to clear traumatic cervical spine injury: Systematic review of the literature. *J Crit Care*. 2014;29:314 e319-313
195. Vazquez XM, Rodriguez MS, Penaranda JM, Concheiro L, Barus JI. Determining prognosis after spinal cord injury. *J Forensic Leg Med*. 2008;15:20-23
196. Coleman WP, Geisler FH. Injury severity as primary predictor of outcome in acute spinal cord injury: Retrospective results from a large multicenter clinical trial. *Spine J*. 2004;4:373-378
197. Zhuge W, Ben-Galim P, Hipp JA, Reitman CA. Efficacy of mri for assessment of spinal trauma: Correlation with intra-operative findings. *J Spinal Disord Tech*. 2012
198. Vaccaro AR, Hulbert RJ, Patel AA, Fisher C, Dvorak M, Lehman RA, Jr., Anderson P, Harrop J, Oner FC, Arnold P, Fehlings M, Hedlund R, Madrazo I, Rechtine G, Aarabi B, Shainline M. The subaxial cervical spine injury classification system: A novel approach to recognize the importance of morphology, neurology, and integrity of the disco-ligamentous complex. *Spine (Phila Pa 1976)*. 2007;32:2365-2374
199. Sonntag VK. Management of bilateral locked facets of the cervical spine. *Neurosurgery*. 1981;8:150-152
200. Maiman DJ, Barolat G, Larson SJ. Management of bilateral locked facets of the cervical spine. *Neurosurgery*. 1986;18:542-547
201. Initial closed reduction of cervical spine fracture-dislocation injuries. *Neurosurgery*. 2002;50:S44-50
202. Ross DE. Review of longitudinal studies of mri brain volumetry in patients with traumatic brain injury. *Brain Inj*. 2011;25:1271-1278
203. Jimenez-Roldan L, Alen JF, Gomez PA, Lobato RD, Ramos A, Munarriz PM, Lagares A. Volumetric analysis of subarachnoid hemorrhage: Assessment of the reliability of two computerized methods and their comparison with other radiographic scales. *J Neurosurg*. 2013;118:84-93
204. Fehlings MG, Furlan JC, Massicotte EM, Arnold P, Aarabi B, Harrop J, Anderson DG, Bono CM, Dvorak M, Fisher C, France J, Hedlund R, Madrazo I, Nockels R, Rampersaud R, Rechtine G, Vaccaro AR. Interobserver and intraobserver reliability of maximum canal compromise and spinal cord compression for evaluation of acute traumatic cervical spinal cord injury. *Spine (Phila Pa 1976)*. 2006;31:1719-1725
205. Karpova A, Arun R, Davis AM, Kulkarni AV, Mikulis DJ, Sooyong C, Rabin D, Craciunas S, Smith SR, Hansen MA, George J, Fehlings MG. Reliability of quantitative magnetic resonance imaging methods in the assessment of spinal canal stenosis and cord compression in cervical myelopathy. *Spine (Phila Pa 1976)*. 2013;38:245-252

# VIII. ANEXO



# AJNR

## AMERICAN JOURNAL OF NEURORADIOLOGY NEWS DIGEST

DIGEST HOME

AJNR.ORG

CURRENT ISSUE

PUBLICATION PREVIEW


PAST DIGESTS

## PODCASTS

▶ June 2016 FJC

▶ June 2016 Journal Scan

▶ June 2016




International Symposium on the

### FETAL BRAIN

September 15-16, 2016  
Washington, DC

**REGISTER NOW**



Children's National<sup>™</sup>  
Fetal Medicine Institute  
Part of the Children's National Health System

## FOLLOW US



### JANUARY-FEBRUARY 2016 SPINE

## Spinal Cord Injury after Blunt Cervical Spine Trauma: Correlation of Soft-Tissue Damage and Extension of Lesion

MRI sequences are constantly evolving, and new techniques enable not only improved diagnostic but also prognostic information. The ability of MRI to predict outcomes in cervical spine trauma has, however, been relatively limited to the detection of cord compression, edema, and intramedullary hematoma. Our group believes that these factors explain only part of the pathologic process determining the ultimate neurologic outcome. The STIR sequence is known to be sensitive and specific for cervical ligamentous disruption, and we have used it to investigate the extent of cervical spinal cord injury.



Rafael Martínez-Pérez

Our initial work explained the importance of the state of the cervical soft tissues, particularly the ligaments, in predicting the extent of spinal cord injury. We believe that this information can change the accepted treatment paradigms. We found that injury to the ligamentum flavum, best shown with sagittal STIR images, is associated with more severe spinal cord injury. In patients who are sedated, have decreased levels of consciousness or other injuries precluding neurological examination, or in whom no cord abnormality is demonstrated on MRI, the presence of signal abnormality in the ligamentum flavum can be predictive of a significant cord injury. Our group has subsequently shown that the pattern of ligamentous injury is more predictive of a poor neurologic outcome at 1 year than vertebral body or pedicle fracture, both of which have been used to justify surgical fixation (TLICS scale). We believe that the current cervical injury classifications do not adequately address or quantify the role of MRI signal changes in spinal ligaments.

Interestingly, the pattern of ligamentous injury may have relevance to another subgroup of patients with cervical spine injury, those classified as "SCIWORA", or Spinal Cord Injury Without Radiological Abnormality. This

entity is commonly described in infants, but may be seen in adults, and is known to have a better-than-average prognosis. Not all patients recover, and some can suffer significant disability. Plain films and CT cannot show posterior ligamentous injury, and it is possible that MRI with STIR sequences could show specific signal changes, influence management, and predict outcome. We expect to present our findings in this disorder at the next American Association of Neurological Surgeons Congress, and we hope to publish our results soon.

*Department of Clinical Neurological Sciences, Division of Neurosurgery, University of Western Ontario, London (Ontario), Canada*

[Read this article at AJNR.org ...](#)



Neural Regen Res. 2015 Sep; 10(9): 1416–1417.

PMCID: PMC4625505

doi: [10.4103/1673-5374.165508](https://doi.org/10.4103/1673-5374.165508)

## Subaxial cervical spine injury classification system: is it most appropriate for classifying cervical injury?

[Rafael Martínez-Pérez](#), M.D., \* [Francisco Fuentes](#), and [Víctor S. Alemany](#)

Division of Neurosurgery, Department of Clinical Neurological Sciences, University of Western Ontario, London, ON, Canada

Department of Neurology, Hospital Rafael Méndez, Lorca, Spain

School of Medicine, Universidad Complutense, Madrid, Spain

\* **Correspondence to:** [Rafael Martinez-Perez](#), [rafa11sabin@hotmail.com](mailto:rafa11sabin@hotmail.com).

Accepted 2015 Jul 30.

Copyright : © Neural Regeneration Research

This is an open access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution-NonCommercial-ShareAlike 3.0 License, which allows others to remix, tweak, and build upon the work non-commercially, as long as the author is credited and the new creations are licensed under the identical terms.

The cervical spine injury represents a potential devastating disease with 6% associated in-hospital mortality (Jain et al., 2015). Neurological deterioration ranging from complete spinal cord injury (SCI) to incomplete SCI or single radiculopathy are potential consequences of the blunt trauma over this region. The subaxial cervical spine accounts the vast majority of cervical injuries, making up two thirds of all cervical fractures (Alday, 1996). Few classifications (Holdsworth, 1970; White et al., 1975; Allen et al., 1982; Denis, 1984; Vaccaro et al., 2007) have been proposed to describe injuries of the cervical spine for several reasons. First, to delineate the best treatment in each case; second, to determinate an accurate neurological prognosis, and third, to establish a standard way to communicate and describe specific characteristics of cervical injuries patterns. Classical systems are primarily descriptive and no single system has gained widespread use, largely because of restrictions in clinical relevance and its complexity.

**Classical systems:** Allen classification has been commonly used over the past two decades. This system is based on a clinical review of 165 patients with blunt cervical trauma (Allen et al., 1982). Each lower cervical injury is divided into 6 categories of injury, which truly describe the attitude of the cervical spine at the time of injury and the dominant force vectors – compressive flexion, vertical compression, distractive flexion, compressive extension, distractive extension and lateral flexion. Distractive flexion injuries were the most common in these 165 patients. Within each category, a series of injury are described, ranging from mild to severe, which are related at the same time with neurological impairment. However, this classification does not allow to make a comparison, in terms of neurological outcome, between different categories of injury mechanisms. Allen system also fails to explain clearly some important force vectors, such as rotation and their implication in spine stability. Neurological status is not included as a criteria of this structural and mechanistic classification. Those individuals with SCI without radiological abnormalities (SCIWORA) are underrepresented and may lead to mistakes in terms of management and predicting clinical outcome, despite the potential disability in this subgroup of patients.

White and Panjabi (1975) elucidated that similar injury mechanisms can produce different injury patterns due to the complexity of the specific forces, moments and positions. They described a complex point-

based system to assess cervical spine stability. Not only clinical data, but also *in vitro* biomechanics testing are the basis of this classification. A street test is also required, which runs against the simplicity and applicability in critical patients. This system also fails in terms of validity and inter observer reliability.

Two-column and three-column (Holdsworth, 1970; Denis, 1984) systems may provide more simplicity and a better understanding of the common injury patterns seen in the lower cervical spine. Holdsworth in his two column model, postulated that the integrity of the posterior bony elements and the posterior ligamentous complex is the major determinant of stability. However, this scheme was insufficient to predict the presence of an unstable subset of compression fractures. Dennis modified the two column theory into a three column system. He defined a middle column, consisting the posterior longitudinal ligament and the posterior third of the vertebral body. The term of “unstable fracture” was coined when the middle column and one of the remaining columns – anterior or posterior – were injured. In spite of being primarily described to elucidate different patterns of fracture in thoracic and lumbar spine, its use has commonly widespread over scientific community. Lower cervical biomechanics differ so much with lumbar and dorsal spine, as C-spine implies wider range of mobility, lesser fixation and a different distribution of articular facets. Denis model (two-column) widely used, is an oversimplification that fails to incorporate the biomechanics importance of the spinal ligaments, which are also linked to degree of SCI (Martinez-Perez et al., 2014b). Moreover, some specific patterns, such as “chance fracture”, is underreported in the cervical spine. So, in our opinion, resorting to these nomenclature to define some cervical fractures may result misleading (Alday, 1996).

**Changes in paradigm: from the structure to the function:** All of these “classical” system mentioned above are based on the mechanism of injury extracted from plain radiographs or CT scans, ignoring the contribution of ligaments to stability and the role of MRI in the stratification (Martinez-Perez et al., 2014a). The role of neurological impairment to determine the prognosis has been clearly demonstrated in previous works and represents an important indicator of severity of cervical spine injury (Miyanji et al., 2007). Moreover, neurological status may be the single most influential factor to indicate conservative or surgical management. Its widely accepted that incomplete neurological injuries requires surgical decompressive procedure, even in the case of absence of frank structural instability. Then, some authors consider that neurological impairment should be include in new systems of classification in order to give them the possibility to help to the surgeon in decision making (Moore et al., 2006; Vaccaro et al., 2007).

The need for a practical lower cervical spine classification system directly linked to a clinical decision-making algorithm prompted the Spine Trauma Study Group to develop the Subaxial Cervical Spine Injury Classification (SLIC) system (Vaccaro et al., 2007). This is a severity scale that attempts to provide a utilitarian classification framework to the clinician and surgeon involved in the treatment of sub-axial injuries. Instead of building the system on an inferred mechanism, it is based on 3 components of injury (mechanism/morphology, integrity of the posterior ligamentous complex and neurological status of the patients, [Table 1](#)) which, by consensus, represent major and largely independent determinants of prognosis and management. The total number of points is calculated for each cervical fracture or dislocation based on these three major categories, and the final score is linked to an algorithm to help guide management: injuries with a SLIC score of 4 or less are managed conservatively, fractures with a score of 6 or more are surgically operated, and injuries with a score of 5 may be managed either with surgery or non operatively at the surgeon’s discretion (Dvorak et al., 2007). In this way, the SLIC severity scale is the first sub-axial trauma classification system to abandon mechanism and anatomy characterized by other systems in favor of injury morphology and clinical status. However, this system lacks the attention toward the level of injury, which also can determinate either the prognosis, as the surgical approach in each case. Other limitation of the mentioned system is the current use in neurosurgical community, lower than older classifications (Chhabra et al., 2015).



Despite of being far from an ideal classification for cervical trauma, by building the system on injury patterns less severe to more severe, the SLIC severity scale helps to objectify the optimal management in each case. Further studies have shown that SLIC scale exhibits excellent validity and inter observer reliability, unlike other classifications (Vaccaro et al., 2007; Patel et al., 2010; Aarabi et al., 2013).

**Conclusion:** “Classical” cervical injury classifications are characterized for its complexity, low applicability, and its uselessness in guiding therapeutic options. New schemes, as SLIC system, includes determinant factors in prognosis, such as neurological impairment. It will hopefully facilitate the development of evidence-based guidelines that may influence other aspects of the therapeutic decision-making process (*e.g.*, which operative approach is most appropriate for a particular injury). We certainly believe its accuracy and reproducibility will increase over time as surgeons become more familiar with the protocol.

## References

1. Aarabi B, Walters BC, Dhall SS, Gelb DE, Hurlbert RJ, Rozzelle CJ, Ryken TC, Theodore N, Hadley MN. Subaxial cervical spine injury classification systems. *Neurosurgery*. 2013;72:170–186. [PubMed: 23417189]
2. Alday R, Lobato RD, Gomez PA. *Neurosurgery*. New York: Churchill Livingstone; 1996. Cervical Spine Fractures.
3. Allen BL, Jr, Ferguson RL, Lehmann TR, O'Brien RP. A mechanistic classification of closed, indirect fractures and dislocations of the lower cervical spine. *Spine (Phila Pa 1976)* 1982;7:1–27. [PubMed: 7071658]
4. Chhabra HS, Kaul R, Kanagaraju V. Do we have an ideal classification system for thoracolumbar and subaxial cervical spine injuries: what is the expert's perspective. *Spinal Cord*. 2015;53:42–48. [PubMed: 25384403]
5. Denis F. Spinal instability as defined by the three-column spine concept in acute spinal trauma. *Clin Orthop Relat Res*. 1984;65–76. [PubMed: 6478705]
6. Dvorak MF, Fisher CG, Fehlings MG, Rampersaud YR, Oner FC, Aarabi B, Vaccaro AR. The surgical approach to subaxial cervical spine injuries: an evidence-based algorithm based on the SLIC classification system. *Spine (Phila Pa 1976)* 2007;32:2620–2629. [PubMed: 17978665]
7. Holdsworth F. Fractures, dislocations, and fracture-dislocations of the spine. *J Bone Joint Surg Am*. 1970;52:1534–1551. [PubMed: 5483077]
8. Jain NB, Ayers GD, Peterson EN, Harris MB, Morse L, O'Connor KC, Garshick E. Traumatic spinal cord injury in the United States 1993–2012. *JAMA*. 2015;313:2236–2243. [PMCID: PMC4712685] [PubMed: 26057284]
9. Martinez-Perez R, Jimenez-Roldan L, Lagares A. Ligaments disruption: a new perspective in the prognosis of spinal cord injury. *Neural Regen Res*. 2014a;9:456–457. [PMCID: PMC4153507] [PubMed: 25206836]
10. Martinez-Perez R, Paredes I, Cepeda S, Ramos A, Castano-Leon AM, Garcia-Fuentes C, Lobato RD, Gomez PA, Lagares A. Spinal cord injury after blunt cervical spine trauma: correlation of soft-tissue damage and extension of lesion. *AJNR Am J Neuroradiol*. 2014b;35:1029–1034. [PubMed: 24335539]
11. Miyanji F, Furlan JC, Aarabi B, Arnold PM, Fehlings MG. Acute cervical traumatic spinal cord injury: MR imaging findings correlated with neurologic outcome-prospective study with 100 consecutive patients. *Radiology*. 2007;243:820–827. [PubMed: 17431129]
12. Moore TA, Vaccaro AR, Anderson PA. Classification of lower cervical spine injuries. *Spine (Phila Pa 1976)* 2006;31:S37–43. [PubMed: 16685235]

13. Patel AA, Hurlbert RJ, Bono CM, Bessey JT, Yang N, Vaccaro AR. Classification and surgical decision making in acute subaxial cervical spine trauma. *Spine (Phila Pa 1976)* 2010;35:S228–234. [PubMed: 20881466]
14. Vaccaro AR, Hurlbert RJ, Patel AA, Fisher C, Dvorak M, Lehman RA, Jr, Anderson P, Harrop J, Oner FC, Arnold P, Fehlings M, Hedlund R, Madrazo I, Rechtine G, Aarabi B, Shainline M. The subaxial cervical spine injury classification system: a novel approach to recognize the importance of morphology, neurology, and integrity of the disco-ligamentous complex. *Spine (Phila Pa 1976)* 2007;32:2365–2374. [PubMed: 17906580]
15. White AA 3rd, Johnson RM, Panjabi MM, Southwick WO. Biomechanical analysis of clinical stability in the cervical spine. *Clin Orthop Relat Res.* 1975;85–96. [PubMed: 1132209]

## Figures and Tables

**Table 1**

Characteristic	Points
Morphology	
No abnormality	0
Compression	1
Burst	2
Distraction ( <i>e.g.</i> , facet perch, hyperextension)	3
Rotation/Translation ( <i>e.g.</i> , facet dislocation, unstable teardrop or advance-staged flexion compression injury)	4
Discoligamentous complex	
Intact	0
Indeterminate ( <i>e.g.</i> , isolated interspinous widening, MRI signal changes only)	1
Disrupted ( <i>e.g.</i> , widening of the disk space, facet perch or dislocation, kyphotic deformity)	2
Neurological status	
Intact	0
Root injury	1
Complete cord injury	2
Incomplete cord injury	3
Continuous cord compression in setting of neuro deficit (Neuro Modifier)	1

## The Subaxial Injury Classification and Severity Score System (SLIC)

Articles from Neural Regeneration Research are provided here courtesy of **Medknow Publications**

## ● PERSPECTIVES

## Ligaments disruption: a new perspective in the prognosis of spinal cord injury

The worldwide prevalence of spinal cord injury (SCI) ranges from 233 to 755 per million inhabitants, whereas the reported incidence lies between 10.4 and 83 per million inhabitants annually (Wyndaele and Wyndaele, 2006). Thus, the socio-economic impact of SCI associated with cervical trauma is high enough that it could become an important concern in the vast majority of developed countries.

The ability to predict recovery following SCI is an important part of the physician's role in providing the best care and guidance to patients and families during recovery. The diagnosis of cervical spine injury is an essential aspect of the trauma evaluation. This task is especially difficult in patients whose clinical examinations are not reliable in the midst of distracting painful injuries, intoxication, or concomitant head injury (Levi et al., 2006; Hasler et al., 2011). For this population, the use of radiology is essential. In particular, magnetic resonance imaging (MRI) has become the tool of choice for the diagnosis and management of cervical spine injury after trauma (Levi et al., 2006; Boese and Lechler, 2013).

Several studies have been designed to find an association between neurological outcome and a specific radiological finding (Kulkarni et al., 1988; Silberstein and Hennessy, 1993; Flanders et al., 1996; Tewari et al., 2005; Miyajima et al., 2007). Larger lesions and hemorrhage within the spinal cord have been classically described as predictors of bad clinical outcomes in most of these (Kulkarni et al., 1988; Silberstein and Hennessy, 1993; Flanders et al., 1996). Because of its accuracy in detecting soft tissue injuries, MRI is a useful and well-known tool in the management of cervical trauma, particularly in cases of doubtful structural stability (Pizones et al., 2012a). However, there is a lack of knowledge about the prognostic role of ligament injuries (Song et al., 2008). In previous work, disruptions of the ligamentum flavum, anterior longitudinal ligament, and posterior longitudinal ligament were found to be statistically associated with bilateral facet dislocation (Vaccaro et al., 2001). A systematic review that included 1,132 cases of spinal cord injury without radiological abnormalities (SCIWORA) showed that patients with extraneural abnormalities had worse prognoses than patients without abnormalities in their MRIs, but better prognoses than patients with intraneural abnormalities such as edema or hemorrhage (Boese and Lechler, 2013). We recently added substantial information to this topic. In a group of 108 patients with SCI after a cervical trauma (Martinez-Perez et al., 2013), we demonstrated that a specific pattern of ligamentous injury is correlated with the length of spinal cord lesions seen in MRIs. Our results showed that ligamentum flavum injury is independently associated with larger lesions measured at high signal intensity within the spinal cord on T2 sequences. At this point, interpretation of our results should be viewed with caution, because lesion length represents the degree of SCI but is not a measure of neurologic outcome at follow-up. Subjectivity associated with neurological examinations and difficulties with statistical interpretation



**Figure 1** Colour scheme showing cervical spine after blunt trauma. Ligamentum flavum is disrupted and associated with intramedullary abnormalities and spinal cord injury.

dictate the use of a continuous scale of quantitative variables to analyze the role of soft tissues in SCI.

In our opinion, there are two mechanisms that synchronically act to produce greater spinal cord lesions when the ligamentum flavum is damaged. First, the elastic nature of the ligamentum flavum implies that more pressure is required to disrupt it, and these forces are also transmitted to the spinal cord (Figure 1). Secondly, posterior elements are associated with increased instability and therefore with greater SCI. This theory may explain why there are patients without evidence of trauma on radiological imaging, but who manifest neurological deficits secondary to SCIWORA, and why there are patients with different grades of SCI in this subgroup of patients. In fact, we are trying to elucidate a specific pattern of soft tissue injuries in those patients diagnosed with SCIWORA and more severe neurological deficits.

The different mechanisms of injury play unclear roles in the development of SCI (Allen et al., 1982; Alday, 1996; Vaccaro et al., 2007). We may be able to provide a basis of understanding of the association between a specific mechanism of injury and the degree of SCI, which should be corroborated in future studies. Allen and associates (Allen et al., 1982) established a classification based on the mechanism of trauma. In the distractive flexion injuries, failure of the posterior ligamentous complex, including the ligamentum flavum, resulted from a major injury vector directed away from the trunk. The degree of these ligamentous failures was sequentially greater with the grade of Allen classification, and was associated with the progressive severity of SCI (Allen et al., 1982). However, this association is not seen only in flexion injuries. Song and associates (Song et al., 2008) used a group of patients with distractive extension injuries to classify, in grades of progressive severity, the patterns of soft tissue injuries. They found that injuries Grade IV and above, which included damage to the ligamentum flavum, showed increased signal cord changes.

Most of the relevant predictors of SCI (edema or intramedullary hemorrhage) are well identified in sagittal T2-weighted images (Silberstein and Hennessy, 1993; Flanders et al., 1996). This sequence should be included in all protocols of cervical trauma for assessing the integrity of soft tissues (Bozzo et al., 2011). However, some authors believe that this may not be enough, and that the standard MRIs have low to moderate specificity in discriminating ligament disruption (Goradia et al., 2007). Fat-suppressed T2 images (Short T1 Inversion Recovery (STIR) sequences) have been



used to more accurately rule out ligament disruption (Pizones et al., 2012a, 2012b). Regretfully, STIR is not available in all protocols, and T2 sagittal images are the minimum needed in cervical trauma MRIs.

The timing of the MRI is a potential source of critical bias. A literature review by Bozzo and associates (Bozzo et al., 2011) concluded that, for prognostication, MRI should be done in the acute period following SCI. It has been recommended that the first MRI be performed 24–72 hours post injury (Bondurant et al., 1990). There is a lack of evidence supporting a more precise guideline (Goradia et al., 2007; Bozzo et al., 2011). According to previous reports, the extent of lesion is related to the clinical prognosis of SCI when the MRI is performed in the acute phase (Tewari et al., 2005; Miyanji et al., 2007). However, we should take into consideration the findings of other investigators who have found that lesion length changes over time and depends on the length of time between trauma and MRI (Leypold et al., 2008). Most of patients with SCI after cervical trauma are managed in intensive care units under unstable conditions, so performing an MRI, especially within the first days after trauma, can sometimes be challenging, and can worsen the clinical condition of the patient. Ligament disruption is a more stable finding and its detection can be useful in predicting neurological prognosis when the MRI must be delayed.

In conclusion, in the past, the role of the ligamentum flavum in the development of SCI has been underestimated. In the future, more effort should be put forth in detecting this injury pattern, particularly in patients whose clinical conditions impede an MRI in the acute phase, and when the classical predictors are not as useful. The MRI is the gold standard to detect and to identify ligament disruption, but most useful sequences, such as STIR, are not included in all cervical trauma protocols.

Rafael Martinez-Perez<sup>1,2</sup>, Luis Jimenez-Roldan<sup>1,2</sup>, Alfonso Lagares<sup>1,2</sup>

1 Department of Neurosurgery of Hospital 12 de Octubre, Madrid, Spain

2 Universidad Complutense de Madrid, Faculty of Medicine, Madrid, Spain

**Conflicts of interest:** The authors report no conflicts of interest.

**Author statements:** This manuscript has not been submitted to any other journal and it has not been presented in part or whole at any congress or meeting. All authors agree with their contents and have contributed to the paper.

**Corresponding author:** Rafael Martínez-Pérez, M.D., Department of Neurosurgery, Hospital 12 de Octubre, Crta de Andalucía Km 5.4, Madrid 28041, Spain, [rafa11safin@hotmail.com](mailto:rafa11safin@hotmail.com).

doi:10.4103/1673-5374.130053 <http://www.nrronline.org/>

Accepted: 2014-03-02

Martinez-Perez R, Jimenez-Roldan L, Lagares A. Ligaments disruption: a new perspective in the prognosis of spinal cord injury. *Neural Regen Res.* 2014;9(5):456-457.

## References

Alday R, Lobato RD, Gomez PA. (1996) Cervical spine fractures In: Neurosurgery 96 New York Churchill Livingstone.  
Allen BL, Jr., Ferguson RL, Lehmann TR, O'Brien RP (1982) A mechanistic classification of closed, indirect fractures and dislocations of the lower cervical spine. *Spine (Phila Pa 1976)* 7:1-27.

Boese CK, Lechler P (2013) Spinal cord injury without radiologic abnormalities in adults: a systematic review. *J Trauma Acute Care Surg* 75:320-330.  
Bondurant FJ, Cotler HB, Kulkarni MV, McArdle CB, Harris JH, Jr. (1990) Acute spinal cord injury. A study using physical examination and magnetic resonance imaging. *Spine (Phila Pa 1976)* 15:161-168.  
Bozzo A, Marcoux J, Radhakrishna M, Pelletier J, Goulet B (2011) The role of magnetic resonance imaging in the management of acute spinal cord injury. *J Neurotrauma* 28:1401-1411.  
Flanders AE, Spettell CM, Tartaglino LM, Friedman DP, Herbison GJ (1996) Forecasting motor recovery after cervical spinal cord injury: value of MR imaging. *Radiology* 201:649-655.  
Goradia D, Linnau KE, Cohen WA, Mirza S, Hallam DK, Blackmore CC (2007) Correlation of MR imaging findings with intraoperative findings after cervical spine trauma. *AJNR Am J Neuroradiol* 28:209-215.  
Hasler RM, Exadaktylos AK, Bouamra O, Benneker LM, Clancy M, Sieber R, Zimmermann H, Lecky F (2011) Epidemiology and predictors of spinal injury in adult major trauma patients: European cohort study. *Eur Spine J* 20:2174-2180.  
Kulkarni MV, Bondurant FJ, Rose SL, Narayana PA (1988) 1.5 tesla magnetic resonance imaging of acute spinal trauma. *Radiographics* 8:1059-1082.  
Levi AD, Hurlbert RJ, Anderson P, Fehlings M, Rampersaud R, Massicotte EM, France JC, Le Huec JC, Hedlund R, Arnold P (2006) Neurologic deterioration secondary to unrecognized spinal instability following trauma--a multicenter study. *Spine (Phila Pa 1976)* 31:451-458.  
Leypold BG, Flanders AE, Burns AS (2008) The early evolution of spinal cord lesions on MR imaging following traumatic spinal cord injury. *AJNR Am J Neuroradiol* 29:1012-1016.  
Martinez-Perez R, Paredes I, Cepeda S, Ramos A, Castano-Leon AM, Garcia-Fuentes C, Lobato RD, Gomez PA, Lagares A (2013) Spinal Cord Injury after Blunt Cervical Spine Trauma: Correlation of Soft-Tissue Damage and Extension of Lesion. *AJNR Am J Neuroradiol*.  
Miyanji F, Furlan JC, Aarabi B, Arnold PM, Fehlings MG (2007) Acute cervical traumatic spinal cord injury: MR imaging findings correlated with neurologic outcome--prospective study with 100 consecutive patients. *Radiology* 243:820-827.  
Pizones J, Sanchez-Mariscal F, Zuniga L, Alvarez P, Izquierdo E (2012a) Prospective Analysis of Magnetic Resonance Imaging Accuracy in Diagnosing Traumatic Injuries of the Posterior Ligamentous Complex of the Thoracolumbar Spine. *Spine (Phila Pa 1976)*.  
Pizones J, Izquierdo E, Sanchez-Mariscal F, Zuniga L, Alvarez P, Gomez-Rice A (2012b) Sequential damage assessment of the different components of the posterior ligamentous complex after magnetic resonance imaging interpretation: prospective study 74 traumatic fractures. *Spine (Phila Pa 1976)* 37:E662-667.  
Silberstein M, Hennessy O (1993) Implications of focal spinal cord lesions following trauma: evaluation with magnetic resonance imaging. *Paraplegia* 31:160-167.  
Song KJ, Kim GH, Lee KB (2008) The efficacy of the modified classification system of soft tissue injury in extension injury of the lower cervical spine. *Spine (Phila Pa 1976)* 33:E488-493.  
Tewari MK, Gifti DS, Singh P, Khosla VK, Mathuriya SN, Gupta SK, Pathak A (2005) Diagnosis and prognostication of adult spinal cord injury without radiographic abnormality using magnetic resonance imaging: analysis of 40 patients. *Surg Neurol* 63:204-209; discussion 209.  
Vaccaro AR, Madigan L, Schweitzer ME, Flanders AE, Hilibrand AS, Albert TJ (2001) Magnetic resonance imaging analysis of soft tissue disruption after flexion-distraction injuries of the subaxial cervical spine. *Spine (Phila Pa 1976)* 26:1866-1872.  
Vaccaro AR, Hulbert RJ, Patel AA, Fisher C, Dvorak M, Lehman RA, Jr., Anderson P, Harrop J, Oner FC, Arnold P, Fehlings M, Hedlund R, Madrazo I, Rechtine G, Aarabi B, Shainline M (2007) The subaxial cervical spine injury classification system: a novel approach to recognize the importance of morphology, neurology, and integrity of the disco-ligamentous complex. *Spine (Phila Pa 1976)* 32:2365-2374.  
Wyndaele M, Wyndaele JJ (2006) Incidence, prevalence and epidemiology of spinal cord injury: what learns a worldwide literature survey? *Spinal Cord* 44:523-529.